Н. И. Богданов
А. Ю. Асанов

ПРУДОВОЕ РЫБОВОДСТВО

Пенза 2011

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ПЕНЗЕНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ПЕНЗЕНСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИЙ И БИЗНЕСА (ФИЛИАЛ)
ГОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ»

ЛАБОРАТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ БИОРЕСУРСОВ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЁМОВ
КРАСНОДАРСКОГО ФИЛИАЛА ВНИРО

Н.И. Богданов, А.Ю. Асанов

ПРУДОВОЕ РЫБОВОДСТВО

3-е издание, дополненное

Пенза 2011

УДК 639.371.52.04

Одобрено Учёным Советом Пензенского научно-исследовательского института сельского хозяйства и Научно-техническим советом Управления сельского хозяйства Пензенской области.

Рецензенты:

член-корреспондент РАСХН, доктор биологических наук, профессор ***А.М. Багров***

доктор биологических наук, ***В.И. Козлов***

Богданов Н.И.

Прудовое рыбоводство / Н.И. Богданов, А.Ю. Асанов. – 3-е изд., доп. – Пенза, 2011. – 89 с.

На примере прудовых хозяйств Пензенской области разработаны и описаны способы выращивания прудовых рыб. Приведены материалы по физико-химическим условиям как специализированных, так и прудов комплексного назначения. Показано, что применение мер интенсификации способствует повышению рыбопродуктивности как выростных, так и нагульных прудов.

Определена роль гидробионтов в формировании прудовой экосистемы высокой продуктивности. Наряду с известными нормативами приведены нормы посадки и виды прудовых рыб, рекомендованные для выращивания в рыбоводных прудах. Впервые для Пензенской области была разработана и рекомендована технология выращивания карпа в поликультуре с растительноядными рыбами, карпа с пелядью и представителями осетровых – бестером.

Для специалистов рыбного хозяйства, гидробиологов, преподавателей и студентов биологических факультетов.

ISBN 978-5-904470-06-7
© Пензенский НИИСХ, 2011 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение ... 4
1 Рыбоводство в Пензенской области ... 8
2 Природно-климатические условия и физико-химическая характеристика рыбоводных прудов ... 11
3 Микробиологические процессы в рыбоводных прудах ... 14
3.1 Бактериопланктон ... 14
3.2 Фитопланктон ... 16
3.2.1 Потенциальная продукция фитопланктона ... 18
3.2.2 Альголизация рыбоводных прудов ... 21
4 Зоопланктон ... 23
5 Зообентос ... 25
6 Краткая характеристика основных объектов прудового рыбоводства пензенской области ... 26
7 Добавочные и сопутсвующие рыбы, раки, водоплавающие птицы ... 30
7.1 Карпоутиные, карпогусиные хозяйства ... 33
8 Разведение и выращивание прудовых рыб ... 35
8.1. Выращивание товарного карпа ... 45
9 Биологические основы математического моделирования высокопродуктивной экосистемы рыбоводного пруда ... 61
9.1 Концептуальная модель экосистемы рыбоводного пруда ... 61
9.2 Математическое моделирование экосистемы рыбоводного пруда ... 65
9.3 Качественная устойчивость биосистемы рыбоводного пруда ... 74
Заключение ... 82
Литература ... 84
Приложение ... 88

ВВЕДЕНИЕ

В конце 20-го - начале 21-го века экстенсивный путь развития мирового рыбного хозяйства изменился в сторону интенсивного. В то время как объем продукции, добываемой рыбным промыслом, остается постоянным, объем водных биоресурсов произведенный методами аквакультуры быстро возрастает. С 1993 по 2007 гг. объем аквакультуры в производстве (и добыче) продуктов вырос в два раза, с 17 до 35%. Так в 2007 г. промыслом добыто 90 млн. т. водных биоресурсов, искусственно выращено – 50 млн. т. На первом месте по выращиванию водных биоресурсов находится Китай, также в первую десятку вошли как крупные азиатские страны с субтропическим и тропическим климатом – Индия, Индонезия, Бангладеш, Япония, так и приполярная малонаселенная Норвегия (Матишов, Пономарева, Балыкин, 2010).

В мире в последнее десятилетие аквакультура не только все больше замещает добычу водных биоресурсов, но и является самой динамично развивающейся отраслью производства продуктов питания (Мамонтов и др., 2003).

Потребление рыбы в мире постоянно растет, однако ресурсы мирового океана оказались ограниченными, несмотря на современное оснащение рыбопромыслового флота, уловы за последние 30 лет не увеличились. Поэтому рост производства рыбы возможен только за счёт её искусственного выращивания – аквакультуры.

Важным преимуществом рыбоводства является большая плодовитость рыб. Например, одна самка карпа дает 500-600 тыс. икринок, из которых уже на следующий год можно получить более 60 т товарной рыбы. То есть малое число производителей способно обеспечить крупномасштабное производство товарной продукции.

В 1976 году Советский Союз единственный раз выходил на первое место в мире по добыче и выращиванию рыбы с объемом в 10 млн. т. Практически всегда с такими показателями лидировала Япония. Еще 20 лет назад Китай производил 5 млн. т. Однако, зарыбив все внутренние водоемы, установив садки не только вдоль морских побережий, но даже в судоходных каналах, Китай к настоящему времени по производству (с учетом добычи) достиг

невероятной величины – более 50 млн. т рыбы и других объектов аквакультуры. Причем, 60 % всей прудовой рыбы они выращивают в водоемах площадью менее 1 га, которые у нас вообще не учитываются.

Государственная политика в СССР в отношении рыбоводства была определена в 1927 г. постановлением ВЦИК и СНК. Она предусматривала два основных направления: искусственное воспроизводство для пополнения запасов естественных водоемов и разведение хозяйственно ценных рыб в прудах и малых озерах (Мамонтов, Захаров, 2011). С тех пор и до 1989г. в стране постоянно увеличивались объемы производства товарной рыбы. Однако, с 1991 г. в России происходила серьезная деградация отрасли, и объемы производства товарной рыбы к середине 90-х годов упали в 4 раза. От полного уничтожения отрасли – рыбоводства – спасла активная деятельность Государственно-кооперативного объединения Росрыбхоз (бывшего Министерства рыбного хозяйства РСФСР). В результате, вышло Постановление Правительства РФ от 31.10.1999 г. за № 1201 «О развитии товарного рыбоводства и рыболовства, осуществляемого во внутренних водоемах Российской Федерации». В планах реализации Постановления субъекты Федерации стали оказывать внимание рыбоводству, разрабатывать региональные программы, закладывать в них финансирование. Сельским рыбоводным хозяйствам стали выделять пахотные земли для производства зерна, оказывать помощь рыбопосадочным материалом. Была разработана и утверждена стратегия развития аквакультуры до 2020 г.

Дальнейшим стимулом для развития отечественного рыбоводства стало внесение рыбоводства в национальный проект «Развитие АПК» в раздел «Животноводство».

Длительное время большим сдерживающим фактором в оформлении новых водоемов для целей рыбоводства являлось отсутствие законодательной базы. Агентством по рыболовству РФ на естественных водоемах, водоемах комплексного назначения было выделено 6 тысяч рыбопромысловых участков, из которых большой процент предполагается задействовать под товарное рыбоводство. Так, например, только в Пензенской области на конкурс под цели товарного рыбоводства выставлено 220 рыбопромысловых участка – водоемов комплексного назначения об-

щей площадью 6,5 тыс. га. Постановление от 14 февраля 2009 г. № 136 «О проведении конкурса на право заключения договора о предоставлении рыбопромыслового участка для осуществления товарного рыбоводства и заключении такого договора» позволило начать проведение конкурсов субъектами РФ и тем самым узаконить рыбоводную деятельность новых рыбоводных хозяйств.

В настоящее время в России общий фонд прудовых площадей, находящихся на балансе рыбохозяйственных предприятий и организаций, составляет 150 тыс. га, однако для выращивания рыбы используется не более 135 тыс. га прудов. Прудовое разведение рыбы – основное направление современного сельскохозяйственного рыбоводства в Российской Федерации. Сейчас насчитывается более 2000 предприятий, занимающихся прудовым рыбоводством. Основное производство находится в Южном, Северо-Кавказском, Центральном и Приволжском федеральных округах, где производят более 75% прудовой рыбы в стране. Объем производства товарной рыбы в 2004-2008 гг. в среднем составил 109,7 тыс.т. Из регионов лидировали: Ростовская область (среднегодовой показатель – 14,3 тыс. т.), Краснодарский край (10,0 тыс. т.), Астраханская область (9,0 тыс. т.), Республика Карелия (5,5 тыс. т), т.е. как южные, так и северные регионы страны (Мамонтов, Скляров, Стецко, 2010). Среди лучших ряд регионов средней полосы – Рязанская, Липецкая, Тамбовская, Московская области, Республика Удмуртия; активно развивается рыбоводство в Пензенской области, Республике Татарстан.

В последние десять лет прудовое рыбоводство базируется на поликультурном разведении карпа и растительноядных рыб. Рыбопродуктивность прудов существенно различается по регионам и отдельным рыбоводным хозяйствам, в среднем по Российской Федерации в 2010 году она составляла около 10,0 ц/га. Объектами рыбоводства являются 36 пород, а также 10 одомашненных форм карповых, лососевых, осетровых, сиговых и цихлидовых рыб.

Ведущее место в сельскохозяйственном рыбоводстве занимают карповые виды рыб, годовое производство которых в последние годы составляет более 80 процентов. До 17 % выращивается форели, до 2 % – осетровых рыб. Наметилась тенденция

расширения видового разнообразия выращиваемых рыб как за счет аборигенной ихтиофауны (линь, щука, сом обыкновенный, карась, судак, окунь), так и использования ранее акклиматизированных видов: канальный сом, пиленгас, веслонос, буффало.

В плане развития отечественной аквакультуры рыбоводам оказывается определенная государственная поддержка, и разрабатываются новые федеральные и региональные программы.

В ближайшее время ожидается принятие федерального закона «Об аквакультуре». В законопроекте определены основные принципы государственной политики в области аквакультуры, введены правовые нормы, устанавливающие правила предоставления и пользования водными объектами в целях аквакультуры и определяющие право собственности на культивируемые водные животные и растения, а также регламентированы виды товарного рыбоводства.

По прогнозам в 2020 г. мировой объем выращивания объектов аквакультуры достигнет 70-80 млн. тонн. Общий планируемый объем производства объектов аквакультуры в России планируется довести до уровня в 400 тыс. тонн, при существующем потенциале в 500 тыс. тонн. Интерес, который появляется в последние годы к рыбоводству не только у профессиональных хозяйств, но и у предпринимателей, фермеров, любителей выращивать рыбу, поддержанный грамотной экономической политикой в регионах позволит достичь намеченных показателей и обеспечить жителей России необходимым ассортиментом и количеством прудовой рыбы.

1 РЫБОВОДСТВО В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Рыбохозяйственное освоение водоемов Пензенской области является основой промышленного рыбопроизводства и обеспечения населения важнейшим продуктом питания.

Пензенская область располагает специализированными прудовыми хозяйствами (3 тыс. га) и прудами комплексного назначения (9 тыс. га) (Система ведения …, 1993). Из этого количества площадей используется для рыборазведения лишь 60 % от общей площади специализированных хозяйств и 10 % площади прудов комплексного назначения. Наличие свободных рыбоводных угодий позволяет с каждым годом расширять масштабы рыбопроизводства.

Товарное рыбоводство в области, в основном, базируется на выращивании карпа. Резервные возможности поликультуры до настоящего времени в полной мере не используются. Хотя природно-климатические условия Средне Волжского региона позволяют наряду с карпом выращивать представителей растительноядного комплекса: белого толстолобика, белого амура, пестрого толстолобика, а также представителей сиговых – пелядь, осетровых – бестер и чукучановых – буффало. Выращивание прудовых рыб в поликультуре позволяет наиболее полно и эффективно использовать кормовую базу рыбоводного пруда, за счет чего в значительной мере повысить получаемую рыбопродукцию и улучшить ассортимент выращиваемых рыб. В связи с этим крайне важно использовать интенсивные технологии рыбоводства применительно к природно-климатическим условиям и экономике области, полнее использовать потенциальные возможности водных угодий не только специализированных рыбоводных хозяйств, но и большого количества прудов комплексного назначения. Последние зачастую недостаточно приспособлены для выращивания рыбы из-за отсутствия специальных гидротехнических сооружений, режима водопользования, морфометрии водоема и т. д., однако, преобладание именно этой категории водоемов в хозяйствах области заключает в себе большие резервные возможности увеличения рыбопроизводства без дополнительных капитальных вложений на строительство прудовых хозяйств.

Рыбоводство в Пензенской области наиболее активно развивалось в 80-е годы XX века. При Управлении сельского хозяйства области существовала рыбоводно-мелиоративная станция, возглавляемая Плахтием Н. М. Благодаря деятельности рыбстанции, в области было построено несколько полносистемных прудовых хозяйств и рыбопитомников в Камешкирском, Никольском, Колышлейском районах, подготовлен проект строительства современного хозяйства в Нижнеломовском районе. При создании Сурского водохранилища был построен самый крупный – Усть-Узинский рыбхоз. Созданы бассейновые хозяйства на теплых водах ТЭЦ -1 и ПМУ треста № 7.

В результате, в 1989 году было выращено наибольшее количество товарной рыбы за всю историю Пензенского рыбоводства – 669 т, из которых 72 т на теплых водах. Необходимо отметить, что это очень неплохой показатель для центральных областей России с небольшим водным фондом (Крышев, Ивушкин, 1981; Ивушкин и др., 1993).

На основании решения облисполкома № 324 от 22.09.1988 и распоряжения агропромышленного объединения № 47 от 20.03.1990 на базе Пензенского рыбокомбината, рыбстанции, прудового фонда совхозов и колхозов было создано ГКО «Пензарыбхоз». Однако, «Пензарыбхоз» просуществовал недолго. В 90-х годах не только Пензенское, но и все российское рыбоводство оказалось в глубоком кризисе. Из-за высокой стоимости электроэнергии, кормов и других ресурсов рыбу стало выращивать не выгодно.

Рыбное хозяйство внутренних водоемов России поддерживал Росрыбхоз (бывший Минрыбхоз РСФСР). А в регионах главенствующую роль в сохранении и возрождении рыбоводства играло рыбохозяйственная наука, в частности, в Европейской части России, филиалы, подразделения ГосНИОРХа и ВНИИПРХа. В 1993 году, в Пензенском НИИСХ была создана лаборатория гидробиологии и прудового рыбоводства. Лаборатория занималась отработкой технологии выращивания карпа в III рыбоводной зоне и других, новых для региона ценных видов рыб; оказывала консультационную помощь и играла своего рода стимулирующую роль в развитии рыбоводства в новых экономических условиях. Десятилетние исследования лаборатории в области прудового рыбоводства и легли в основу данной публикации.

В соответствии с Постановление Правительства РФ от 31.10.1999 № 1201 «О развитии товарного рыбоводства и рыболовства, осуществляемого во внутренних водоемах Российской Федерации» Правительство Пензенской области издало Постановление «О развитии прудового рыбоводства области». Постановление и план по производству товарной рыбы и рыбопосадочного материала разрабатывались под руководством главного специалиста Управления сельского хозяйства области Бармотиной Л. В. По данному плану предусматривается: рост производства товарной рыбы с 30-ти тонн в 2000 году до 300 тонн в 2005 году; рыбопосадочного материала с 450 тыс. шт. сеголеток в 2000 году до 2000 тыс. шт. в 2005 году. Кураторство над рыбоводством было поручено Управлению сельского хозяйства. Новый толчок в развитие рыбного хозяйства Пензенской области дал губернатор В. К. Бочкарев. По его инициативе, в 2003 году с целью привлечения внимания к рыбоводству, спортивно-любительскому рыболовству на одном из лучших прудовых хозяйств области Савенкова В. И., в Кузнецком районе, было проведено совещание – семинар с главами местного самоуправления и администраций районов. А в 2004 году на основании распоряжения губернатора (Постановление Правительства Пензенской области от 21.06.2004 № 318-пП) в Управлении сельского хозяйства создан рыбохозяйственный отдел.

2 ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЫБОВОДНЫХ ПРУДОВ

Климат Пензенской области умеренно-континентальный, со снежной умеренно холодной зимой и теплым летом. Продолжительность безморозного периода составляет 135 дней, с 11 мая по 24 сентября. Средняя годовая температура воздуха не превышает 3,5^{o}С. Средняя дата появления устойчивого снежного покрова – 28 ноября, сход – 9 апреля. Среднегодовое количество осадков составляет 400 мм, из них на теплый период года приходится 297 мм.

Преобладающими ветрами в зимний период являются ветры южных и юго-восточных направлений, а в летний период – северных и северо-западных. Среднегодовая скорость ветра 4,2 м/с, а максимальная скорость – 30 м/с (Курицын и Мадерский, 1991).

Физические и химические факторы среды обитания являются основополагающими для гидробионтов. Среда обитания может изменяться под влиянием организмов, населяющих пруд, а также в результате антропогенного воздействия. В водной среде показатели газового режима, pH, температуры воды варьируют как по сезонам, так и в течение суток. Так, в утренние часы содержание растворенного в воде кислорода может быть меньше, чем в другое время суток. Величины pH в течение светового дня могут изменяться, начиная от кислой и до щелочной реакции.

Важнейшие физико-химические показатели воды приведем на примере Чирковского пруда (Михайловское ОПХ) комплексного назначения за вегетационные периоды 2001-2003 гг. (табл. 1).

Прозрачность воды. В мае, когда вода еще недостаточно прогрета, прозрачность воды в пруду бывает наибольшей и по годам она изменяется в пределах от 1,2 до 1,4 м. В остальной период уровень прозрачности воды снижается и наименьшая отмечается в июле-августе – 0,4 м (2002 г). В 2003 году самая низкая прозрачность была в августе (0,7 м), тогда как в 2001 году в июне – 0,5 м. В сентябре, когда начинается понижение температуры

Таблица 1 – Физико-химические показатели воды Чирковского пруда в 2001-2003 гг.

Дата отбора проб, месяц	Прозрачность, м	Температура, ^{o}C	Кислород, мг/л	pH
2001 год				
Май	1,20	14,9	6,6	8,35
Июнь	0,50	20,9	6,4	7,60
Июль	0,65	26,0	4,5	8,60
Август	0,80	23,7	5,3	8,58
Сентябрь	0,75	16,3	5,7	8,00
2002 год				
Май	1,40	11,5	7,40	8,23
Июнь	0,98	18,7	7,95	8,37
Июль	0,43	25,4	5.50	7,57
Август	0,45	18,9	7,44	7,40
Сентябрь	0,90	13,7	7,10	7,20
2003 год				
Май	1,25	13,3	5,8	8,42
Июнь	1,10	16,9	5,2	8,60
Июль	0,85	24,1	5,5	8,58
Август	0,70	21,6	5,3	8,14
Сентябрь	0,97	14,6	5,7	7,94

воды, происходит спад развития водорослей, в результате чего увеличивается прозрачность воды, в среднем до 0,9 м.

Температура воды играет исключительно важную роль в жизни гидробионтов. Поэтому необходимо проводить постоянные наблюдения за ходом изменения температурного режима пруда. Обычно в мае температура воды не поднимается выше 14-15^{o}С. В июне она повышается и находится в пределах 17-21^{o}С. Июль в температурном отношении самый благоприятный месяц. В среднем по годам в июле было 24-26^{o}С. В августе начинается постепенное снижение температуры воды и в сентябре эти величины составляют 14-16^{o}С. В третьей декаде сентября температура воды опускается до 10^{o}С. К этому периоду рыба уже прекращает питаться.

Кислородный режим пруда является основным показателем результата жизнедеятельности населяющих водоем гидробионтов. Основным источником поступления кислорода в воду является процесс фотосинтеза водорослей.

Содержание кислорода в воде рыбоводного пруда в различные годы может быть разным. Так, в Чирковском пруду наибольшее количество кислорода было в 2002 году, наименьшее в 2003 г. Изменение содержания кислорода в воде, скорее всего, связано не только с различными погодными условиями по годам, но и количеством выращиваемых рыб в пруду, так и плотности посадки, которые различались по годам.

Активная реакция среды или водородный показатель (рН) воды рыбоводного пруда составляет от 7,2 до 8,6. Наименьшие показатели рН отмечаются в конце вегетационного периода и находятся в пределах 7,2-8,0. Высокие показатели рН по годам отмечены в июне-июле, когда они достигают величин 8,6. Это происходит в результате того, что водоросли в этот период активно вегетируют и в течение дня, извлекают из воды свободную углекислоту, тем самым уменьшается ее содержание, и активная реакция среды смещается в щелочную сторону.

3 МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РЫБОВОДНЫХ ПРУДАХ

Интенсивность развития микробиологических процессов в рыбоводных прудах связана с обеспеченностью их биогенными и органическими веществами. Микробиологические процессы круговорота органических веществ являются наиболее масштабными из всех биопродукционных процессов рыбоводного пруда и составляют материальную и энергетическую основу биоты водоёма (Новожилова и др., 1987). Поэтому определение видового и количественного состава фитопланктона и сопоставление этих величин с количественным развитием и распределением бактериопланктона имеет существенное значение для управления биологическими процессами в целях влияния на конечную продукцию.

3.1 Бактериопланктон

Одним из основных звеньев в пищевой цепи водоема являются бактерии. Они служат полноценным кормом для гидробионтов – зоопланктона, зообентоса и личинок рыб. Микроорганизмы важны в питании рыб, таких как белый толстолобик. В результате бактериальной деятельности – деструкции органических веществ, в водоем поступают минеральные и органические вещества, углекислый газ и пр. Поэтому определение численности бактерий в водной толще и особенностей распределения по акватории пруда имеет решающее значение для характеристики биологических процессов, протекающих в нем.

Характеристика общей численности бактериопланктона приведена на примере Чирковского пруда. Сезонная динамика общей численности бактерий в 2001-2003 гг. изменялась в пределах от 150 до 650 тыс. кл./мл. Средние величины по годам составили: в 2001 – 350, в 2002 – 430 и в 2003 – 400 тыс. кл./мл (табл. 2). Максимальные величины были отмечены в августе 2002 – 738 и в июне 2003 – 563 тыс. кл./мл. Минимальные величины приходились на июль 2001 – 309, май 2002 – 155 и май 2003 – 254 тыс. кл./мл.

Таблица 2 – Численность бактериопланктона Чирковского пруда за вегетационные периоды 2001-2003 гг.

Дата отбора проб, месяц	Общая численность бактерий, тыс. кл./мл	Сапрофиты, тыс. кл./мл
2001 год		
Май	411,70	3,33
Июнь	348,40	30,80
Июль	309,80	23,70
Август	509,60	6,90
Сентябрь	206,10	0,90
2002 год		
Май	155,90	-
Июнь	270,70	-
Июль	563,70	3,80
Август	738,20	7,60
Сентябрь	-	-
2003 год		
Май	254,74	1,4
Июнь	645,67	32,75
Июль	308,16	7,97
Август	406,83	1,73
Сентябрь	-	-

Сезонная динамика численности бактерий в 2002 году характеризовалась их ростом, начиная с мая по август. В остальные годы различия по месяцам составляли 100-200 тыс. кл./мл.

В сезонной динамике численности сапрофитов отмечается явно выраженный летний пик, который достигает в июне 30 тыс. кл./мл. Такое увеличение численности сапрофитов связано с наличием отмершего фитопланктона после «цветения» сине-зелеными водорослями. Весной и осенью численность сапрофитов невысокая – соответственно 1,4 и 3,3 тыс. кл./мл. Это объясняется тем, что весной и осенью температура воды в пруду недостаточно высокая для интенсивного развития сапрофитов.

3.2 Фитопланктон

Обилие, как видового состава, так и численности фитопланктона рыбоводного пруда зависит от внесения в пруд органических и минеральных удобрений, наличия в пруду рыб фитофагов, количества зоопланктона и других факторов.

Фитопланктон в пруду, в основном, представлен зелеными, синезелеными и диатомовыми водорослями (рис. 1). Для развития и роста водорослей необходимо наличие в воде солей азота, фосфора, железа и др. Наиболее чувствительны к биогенным элементам зеленые водоросли, поэтому после удобрения пруда они начинают быстро развиваться. Зеленые водоросли являются

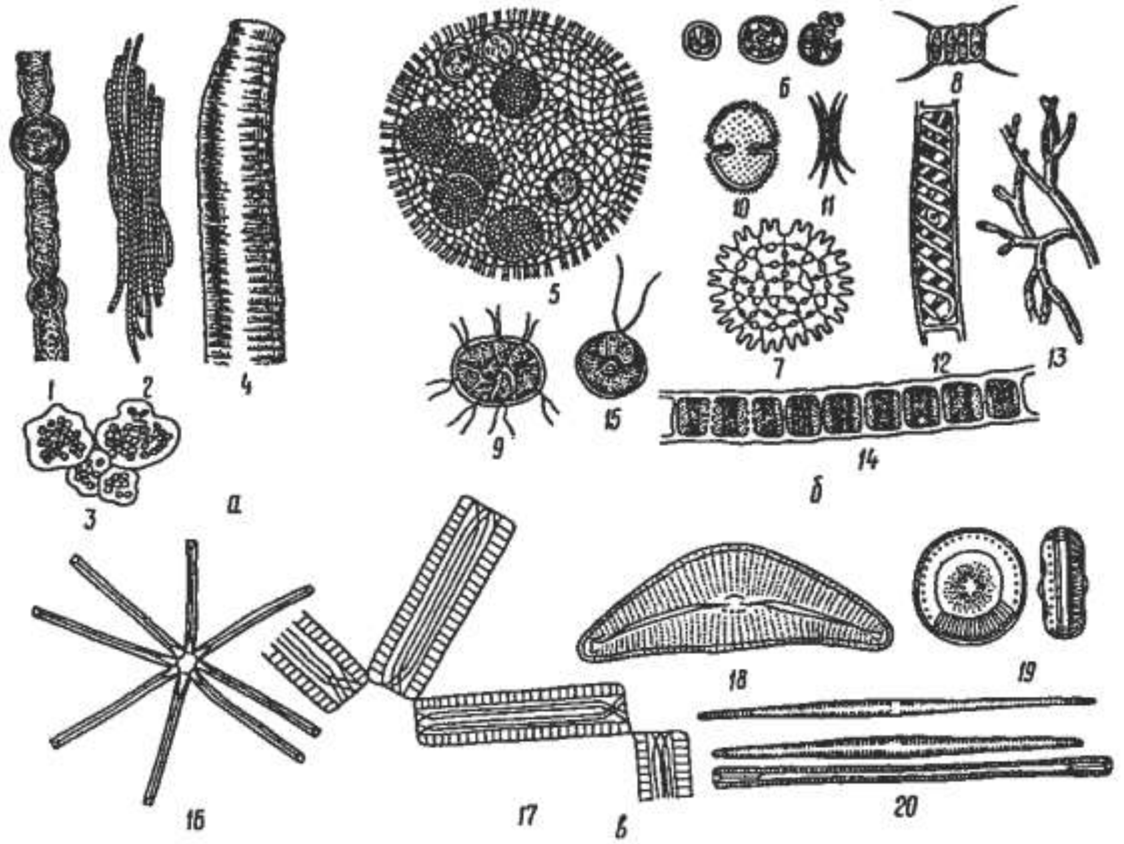


Рисунок 1 – Фитопланктон, водоросли (из Грищенко Л. И. и др., 1999):

***а** – синезеленые:* 1 – анабена, 2 – афанизоменон, 3 – микроцистис, 4 – осциллатория;

***б** – зеленые*: 5 – вольвокс, 6 – хлорелла, 7 – педиаструм, 8 – сценедесмус, 9 – пандорина, 10 – космариум, 11 – анкистродесмус, 12 – спирогира, 13 – кладофора, 14 – улотрикс, 15 – хламидомонас;

***в** – диатомовые:* 16 – астерионелла, 17 – диатома, 18 – симбелла, 19 – циклотелла, 20 – синедра

наиболее благоприятными, так как активно используются гидробионтами. Синезеленые водоросли вызывают «цветение» воды в пруду. Некоторые из них при разложении выделяют токсины. Длительное «цветение» синезелеными водорослями зачастую приводит к заморным явлениям в прудах.

Диатомовые водоросли чаще всего развиваются весной и осенью. К питательным веществам они не требовательны, массовое развитие в прудах явление довольно редкое.

За развитием фитопланктона проследим на примере Чирковского пруда, в котором он был представлен 108 видами, разновидностями и формами, в том числе зеленых – 39, синезеленых – 9, диатомовых – 56, пиррофитовых– 4. В 2003 году по количеству видов преобладали зеленые водоросли. На фоне увеличения количества зеленых водорослей уменьшилась роль синезеленых, которые в прежние годы вызывали длительное «цветение». В 2003 году наблюдалось непродолжительное «цветение» воды на отдельных участках и вызывалось тем же видом, что и в прежние годы (Aphanizomenon flos-aquae). Максимальная численность фитопланктона была в августе (71,8 тыс. кл./мл), основную часть, которой составили зеленые водоросли (табл. 3).

Таблица 3 – Численность фитопланктона Чирковского пруда за вегетационные периоды 2001-2003 гг.

	Дата отбора проб, месяц	Фитопланктон, тыс. кл./мл
2001 год	Май	18,80
	Июнь	16,64
	Июль	24,12
	Август	5,14
	Сентябрь	3,44
2002 год	Май	22,43
	Июнь	84,18
	Июль	5,35
	Август	40,00
	Сентябрь	-
2003 год	Май	3,84
	Июнь	23,23
	Июль	42,43
	Август	71,87
	Сентябрь	-

Виды микроводорослей наиболее часто встречающиеся в рыбоводных прудах Пензенской области:

Синезеленые	*Зелёные*
Anabaena variabilis	Chlorella vulgaris
Aphanizomenon flos-aquae	Volvox globator
Merismopedia tenuissima	Scenedesmus quadricauda
Microcystis aeruginosa	Scenedesmus acuminatus
	Pediastrum duplex
Диатомовые	Oocystis rupestris
Cyclotella comta	Coelastrum microporum
Melosira granulata	Golenkinia radiata
Navicula exigua	Closterium parvulum
Synedra ulna	Closterium intermedium
Stephanodiscus astraea	Actinastrum Hantzschii
Surirella robusta v. splendida	Kirchneriella lunaris

3.2.1 Потенциальная продукция фитопланктона

Потенциальная возможность водоёма к продуцированию органического вещества за счёт фотосинтеза фитопланктона является показателем его резервных возможностей. С первичной продукцией фитопланктона связана рыбопродуктивность (Богданов и др., 1991; Руденко, 1986), поэтому возможности её наращивания имеют первостепенное значение для повышения продуктивности пруда.

Потенциальную продукцию фотосинтеза фитопланктона можно оценить по использованию энергии фотосинтетической активной радиации (ФАР). Для полевых посевов теоретически возможный КПД от энергии ФАР составляет 5-6 %. Для аквакультуры хлореллы приведены более высокие проценты – 10-12 (Ничипорович, 1966). Однако, скорее всего, более реальные пределы теоретически возможных КПД от энергии ФАР для микроскопических водорослей могут составить не более 6-7 %. При культивировании хлореллы в установках лоткового типа под открытым небом достигнута продуктивность, при которой КПД от ФАР равнялся 3,6 % (Богданов, 1986). Вполне справедливо утверждение А. А. Ничипоровича (1966), что «…использовать энер-

гию ФАР с высоким КПД должно быть главной целью работ по повышению урожайности», и оно целиком приемлемо и при проведении работ по повышению рыбопродуктивности прудов.

К условиям, определяющим потенциальную продукцию фитопланктона, прежде всего, относятся биогенные и органические вещества, недостаток которых приводит к снижению интенсивности фотосинтеза, а также наличие в планктоне высокопродуктивных видов микроводорослей. Для подтверждения этих доводов на рыбоводных прудах проводились опыты по влиянию биогенов (азот и фосфор), органических веществ (бактериальная суспензия) и микроводорослей хлореллы на развитие фитопланктона. Для исследований были использованы 100-литровые пластиковые ёмкости, заполненные прудовой водой и установленные на плаву в пруду. В них в первый день была внесена суспензия хлореллы, исходная плотность которой во всех культиваторах составила 50 тыс. кл./мл. Первая ёмкость была контрольной, во вторую вносили аммиачную селитру (1 г/л), в третью – бактериальную суспензию (4 мл/л), в четвёртую – 10 % раствор суперфосфата (1мл/л), в пятую – аммиачную селитру (1 г/л) и 10 % раствор суперфосфата (1мл/л), в шестую – аммиачную селитру (1 г/л), 10 % раствор суперфосфата (1мл/л) и бактериальную суспензию (4 мл/л). Длительность опыта составляла четыре дня. По результатам экспериментов видно, что наибольшей численности фитопланктон достиг в шестом варианте опыта (рис. 2). Прирост численности фитопланктона за сутки в среднем был в 2,2 раза выше, чем в контроле.

Опыты по определению потенциальной продукции фитопланктона в рыбоводных прудах показали, что прирост численности микроводорослей при оптимальных условиях насыщения прудовой воды комплексом биогенов (азот и фосфор), органическими веществами (бактериальная суспензия) хлореллой (только в шестом варианте) в среднем за сутки культивирования в 2 раза выше, чем в контроле (рис. 2), т. е. можно полагать, что потенциальная способность рыбоводных прудов к фотосинтезу фитопланктона достаточно высокая, но она ещё далека от теоретически возможной, т. к. если будет достигнут уровень потенциальной продукции, то КПД от использования энергии ФАР составит только 2,5 %.

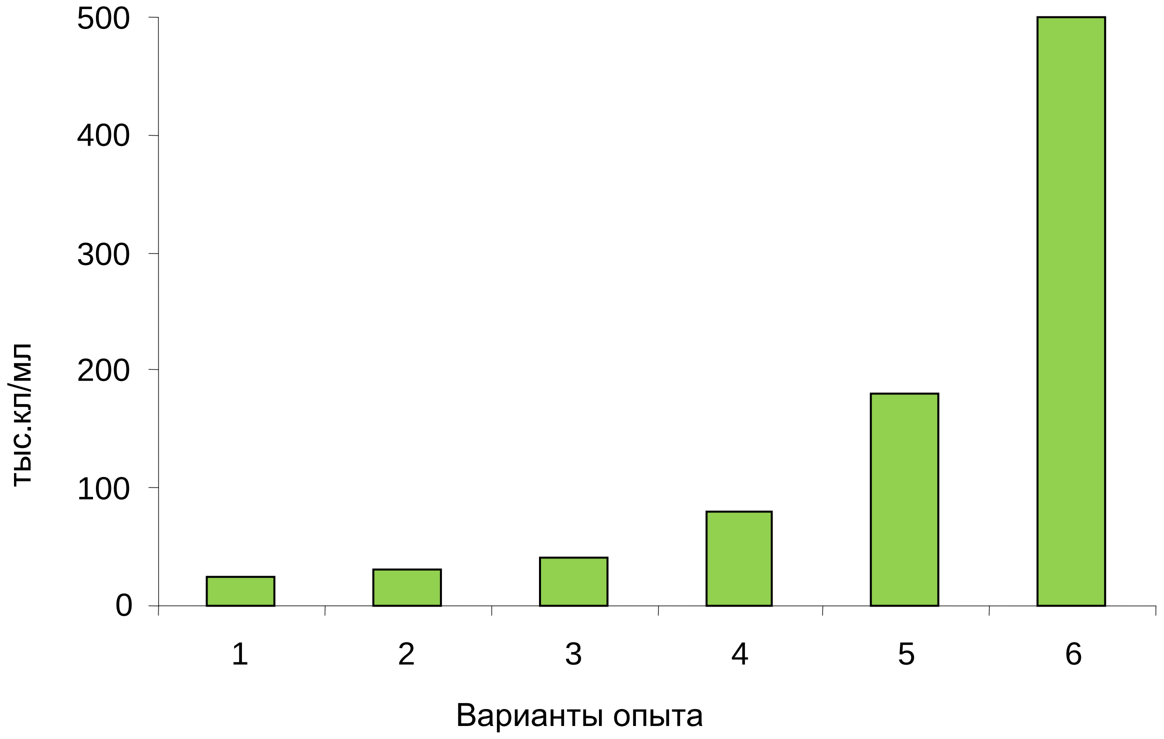


Рисунок 2 – Численность фитопланктона при различных вариантах внесения биогенных и органических веществ

Представляет интерес сравнить эффективность утилизации солнечной энергии (ФАР) различными водоёмами (табл. 4).

Таблица 4 – Эффективность утилизации солнечной энергии водоёмами различного типа

Водоёмы	Год исследования	Площадь водоёма, га	За вегетационный период		КПД от ФАР, %
			г С/м^2	ккал/м^2	
Озеро	1987	350	10	107	0,03
Горное водохранилище	1983	9800	90	963	0,24
Равнинное водохранилище	1990	52000	109	1116	0,30
Рыбоводный пруд	1987	8	467	4997	1,25
Культиватор хлореллы	1991	0,0005	1350	14445	3,60

Из таблицы видно, что рыбоводные пруды в четыре раза эффективней используют солнечную энергию, чем водохранилища, и почти в три раза слабей, чем культиваторы хлореллы. Однако необходимо отметить, что на долю естественной продукции в рыбоводных прудах приходится 1 % от общего количества первичной продукции (соответственно 50 и 5000 ккал/м^2 за вегетационный сезон).

Результаты проведенных исследований также показали, что хлорелла наиболее эффективно способствует повышению продуктивности прудов. В этой связи следует отметить, что в литературе приводятся сведения, указывающие на перспективность искусственной альголизации прудов аридной зоны (Новожилова и др., 1987).

3.2.2 Альголизация рыбоводных прудов

Использование хлореллы в прудовом рыбоводстве осуществляется путем воздействия на экосистему водоёма. Учитывая, что видовое разнообразие фитопланктона является основой естественной кормовой базы рыбоводного пруда, необходимо стремиться к тому, что бы в планктоне преобладали представители зеленых водорослей – наиболее ценные в кормовом отношении. Зачастую рыбоводные пруды заселяют синезеленые водоросли, чаще всего это представители трех родов *Aphanizomenon, Anabaena, Microcystis.* При массовом развитии синезеленых водорослей отмечается «цветение» воды. Это нежелательное явление для прудового рыбоводства, в пруду ухудшается кислородный режим, а при отмирании этих водорослей в воду выделяются токсины, которые могут привести к гибели рыбы. Если в пруду развивается такой представитель синезеленых водорослей, как *Planktothrix agardhii,* то в воде появляются неприятные запахи. Поэтому одной из важнейших задач в прудовом рыбоводстве является предотвращение «цветения» воды. Для предотвращения массового развития синезеленых водорослей проводится альголизация рыбоводного пруда планктонными штаммами хлореллы.

Применение суспензии хлореллы в рыбоводных прудах для альголизации значительно укрепляет их кормовую базу (Мано-

хина, 1977; Музафаров, 1977). Планктонные штаммы хлореллы (*Chlorella vulgaris ИФР № С-111и Chlorella vulgarisBIN)*снижают активность синезеленых водорослей (*Microcystis aeruginosa, Anabaena variabilis, Aphanizomenon flos-aquae*), в результате чего возрастает рыбопродуктивность в нагульных прудах (Богданов, 2005). Так, в контрольные пруды Телегинского рыбхоза (Пензенская обл.) вносили органические и минеральные удобрения, а опытные дополнительно альголизировали. Для инокуляции был использован штамм *Chlorella vulgaris ИФР № С-111*. Фоновый состав водорослей в основном относился к диатомовым и синезеленым, а после альголизации он стал преимущественно зеленым. Развитие зоопланктона в опытных прудах шло намного интенсивней, чем в контрольных. В опытном пруду по сравнению со всеми остальными прудами плотность зоопланктона была наивысшей (1375 мг/л), что позволило получить стандартную навеску сеголетков карпа раньше запланированного срока.

В опытном пруду рыбхоза «Тройка» Городищенского района Пензенской области личинки к периоду пересадки весили на 30% больше, чем в контрольном пруду. Применение хлореллы позволяет получать стандартный посадочный материал карпа.

В опытном пруду рыбхоза «Порзово» (Камешкирский район Пензенской обл.), куда вносили суспензию хлореллы, плановая навеска рыб (425 г) была достигнута в начале августа, при этом улов рыбы составил 1 т/га. В контрольном пруду эти показатели были соответственно равны 300 г и 0,7 т/га (Богданов, 1999).

Суспензию хлореллы использовали также при выращивании сеголетков карпа в Себистонском заливе Нурекского водохранилища. Эксперимент проводили в трёх садках. В первый задавали корм с размолотой куколкой тутового шелкопряда, во второй – корм с размолотой куколкой тутового шелкопряда смоченный суспензией хлореллы, третий садок был контрольным, рыбу в нем не кормили. Через 100 дней выращивания в первом садке средняя навеска сеголетков достигала 38 , втором – 45, третьем – 8 грамм. Сохранность составила соответственно 41, 90 и 87 %. Таким образом, наилучший посадочный материал был получен при применении суспензии хлореллы (Богданов, 1982).

4 ЗООПЛАНКТОН

Процессы интенсификации рыбоводных прудов, направленные на увеличение численности и биомассы микроорганизмов, способствуют интенсивному развитию зоопланктона. В состав зоопланктона входят инфузории, коловратки, веслоногие и ветвистоусые рачки (рис. 3).

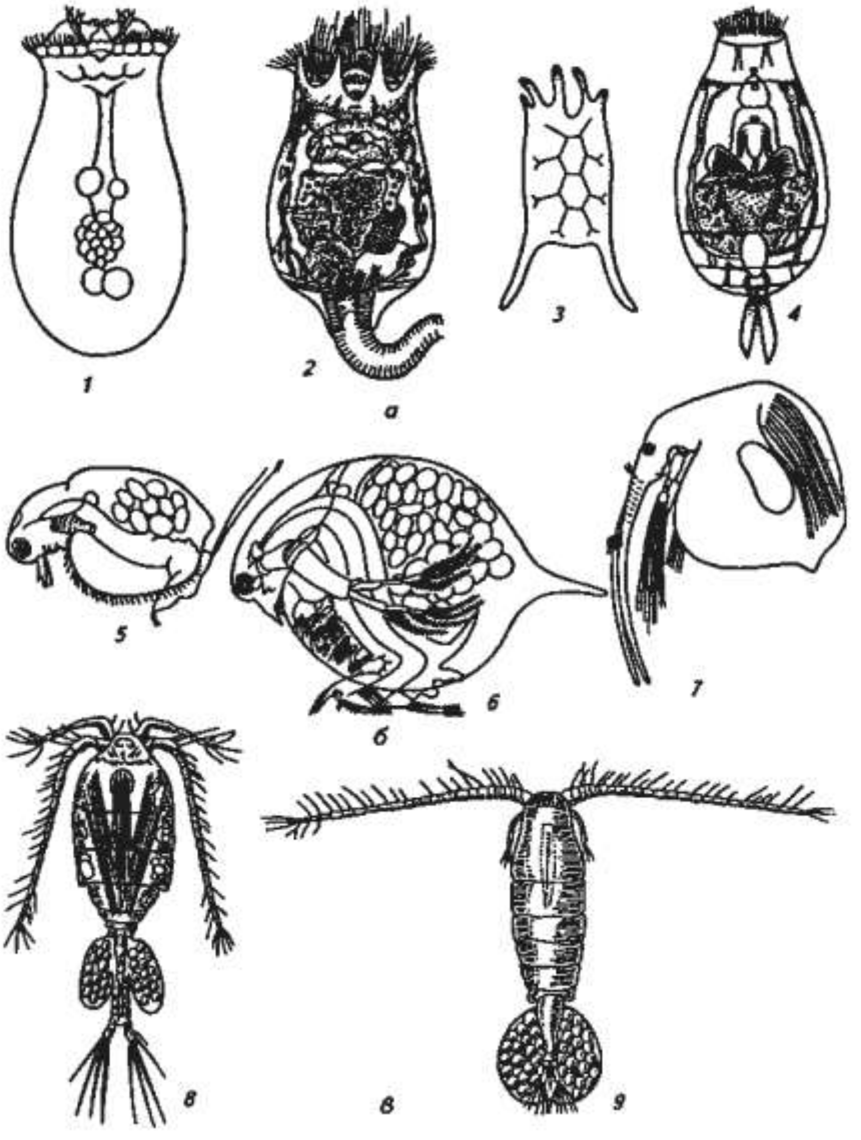


Рисунок 3 – Зоопланктон (из Грищенко и др., 1999):

а – *коловратки:* 1 – аспланха, 2 – брахионус, 3 – керателла квадрата, 4 – лекана;

б – *ветвистоусые рачки:* 5 – моина, 6 – дафния пулекс, 7 – босмина корегони;

в – *веслоногие рачки:* 8 – циклоп, 9 – диаптомус

В наших прудах видовой состав зоопланктона не отличается большим разнообразием. Так, например, в рыбхозе «Тройка» Городищенского района наиболее многочисленными представителями зоопланктона были босмины и дафнии. Представители других видов были малочисленны.

Фитопланктон и бактерии активно используются в пищевом рационе зоопланктона. Поэтому сопоставление сезонной динамики биомассы зоопланктона в прудах рыбхоза «Тройка» с аналогичными величинами фитопланктона показало, что между ними существует обратная связь. Это актуально особенно для нерестовых прудов, где все мероприятия направлены на поддержание биомассы зоопланктона, т. к. он является основным кормом личинок карпа.

Внесение минеральных и органических удобрений способствует постепенному увеличению биомассы зоопланктона. Так, максимальные величины биомассы в рыбхозе «Тройка» были достигнуты в конце июня (1375 мг/л) в выростных прудах (табл. 5). В последующие месяцы зоопланктон в этих прудах практически отсутствовал, что было связано с выеданием его молодью карпа.

Таблица 5 – Биологические показатели нерестовых прудов рыбхоза «Тройка»

Месяц и число	Фитопланктон		Зоопланктон
	численность, тыс. кл./мл	биомасса, мг/л	биомасса, мг/л
Май, 16	2,4	0,02	20
Май, 27	17,6	13,2	26
Июнь, 3	4,2	0,32	18
Июнь, 25	3,3	0,02	1375
Август, 16	15,5	4,20	0

5 ЗООБЕНТОС

Для карпа организмы зообентоса представляют наибольшее кормовое значение. Зообентос состоит из членистоногих, моллюсков и червей. В донных отложениях прудов наиболее многочисленны разнообразные личинки насекомых: поденок, ручейников, комаров, стрекоз, мошек. Однако наибольшее значение для карпа имеют хирономиды – личинки комаров. В питании карпа заметное место занимают малощетинковые черви-олигохеты (рис. 4) (Грищенко и др., 1999).

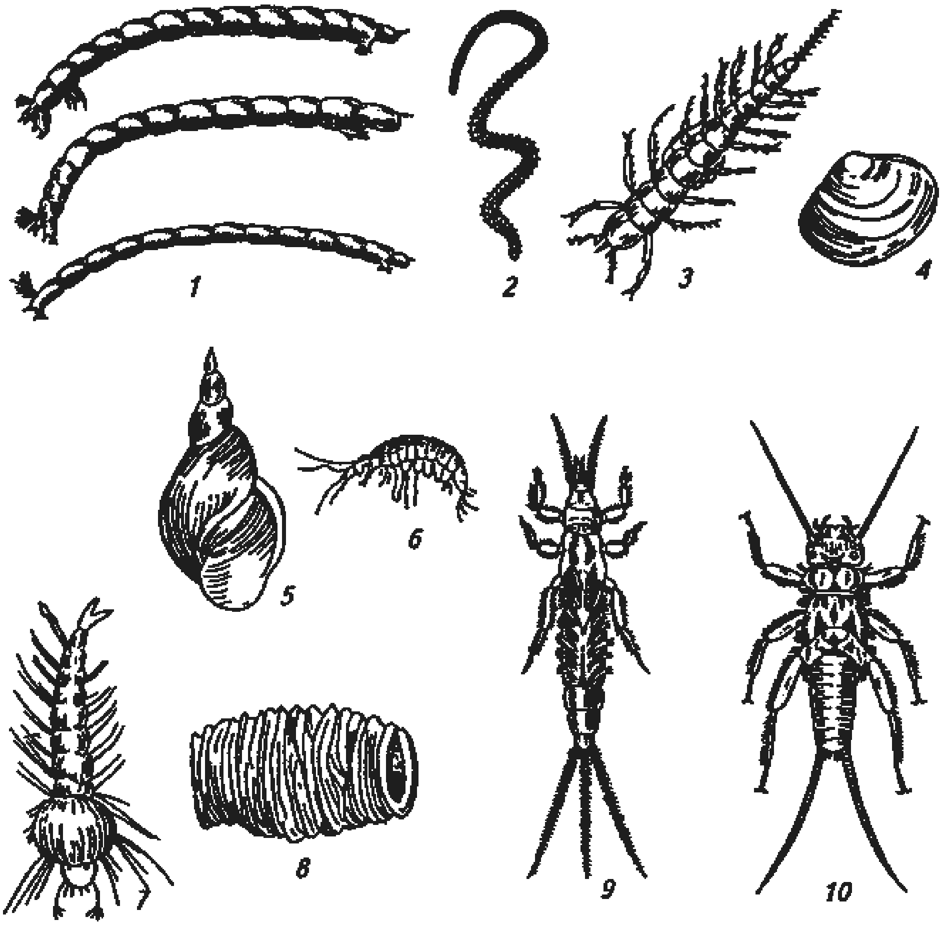


Рисунок 4 – Организмы бентоса (из Грищенко Л. И. и др., 1999): 1 – хирономиды; 2 – олигохеты; 3 – личинка вислокрылки; 4 – шаровка; 5 – прудовик; 6 – бокоплав; 7 – личинка комара; 8 – ручейник; 9 – поденка; 10 – веснянка

Из моллюсков в наших прудах встречаются прудовики, катушки, живородки, битинии.

6 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРУДОВОГО РЫБОВОДСТВА ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

К основным прудовым рыбам, которых можно выращивать в Пензенской области (III зона прудового рыбоводства) относятся: карп, карась, белый амур, белый толстолобик, пестрый толстолобик, буффало, пелядь, бестер.

Карп. Это одна из основных рыб, разводимых в прудовых хозяйствах области, обладающая высокими пищевыми качествами. Он хорошо растет как в прудах специально построенных для выращивания рыбы, так и в водоемах комплексного назначения.

Неприхотливость к условиям содержания позволяет карпу легко приспосабливаться к условиям гидрохимического режима водоема, кормовой базе, режиму кормления и другим факторам (рис. 5).

В России в настоящее время используется 19 пород и кроссов карпа. Однако для Пензенской области оптимально подходят всего две породы – карп Парский и карп московский чешуйчатый (Богерук и др., 2001).

Карп – теплолюбивая рыба. Питаться начинает после достижения температуры воды 12^{o}С. Оптимальные температурные условия для питания, роста и размножения 16-26^{o}С.

Карп относится к всеядным рыбам, однако излюбленной пещей являются бентосные организмы (личинки хирономид, олигохеты, моллюски). Он охотно поедает и усваивает специальные рыбные комбикорма, а также корма как растительного, так и животного происхождения (Богданов и Эгамов, 1993).

При нормативной посадке в прудах комплексного назначения за двухлетний цикл выращивания карп в Пензенской области превышает принятую в России стандартную массу (350-500 г) и достигает 600-1000 г. Такой навески товарные двухлетки карпа достигают за 100 дней нагула. Половая зрелость карпа наступает в 4-5 лет. В полносистемных хозяйствах Городищенского района («Тройка»), Колышлейского района («Телегино») и др. нерест карпа проходит в мае-июне при температуре воды 17-20^{o}С.

Белый амур. Широко используется в прудовом рыбоводстве области. Белый амур – растительноядная рыба. Основу пита-

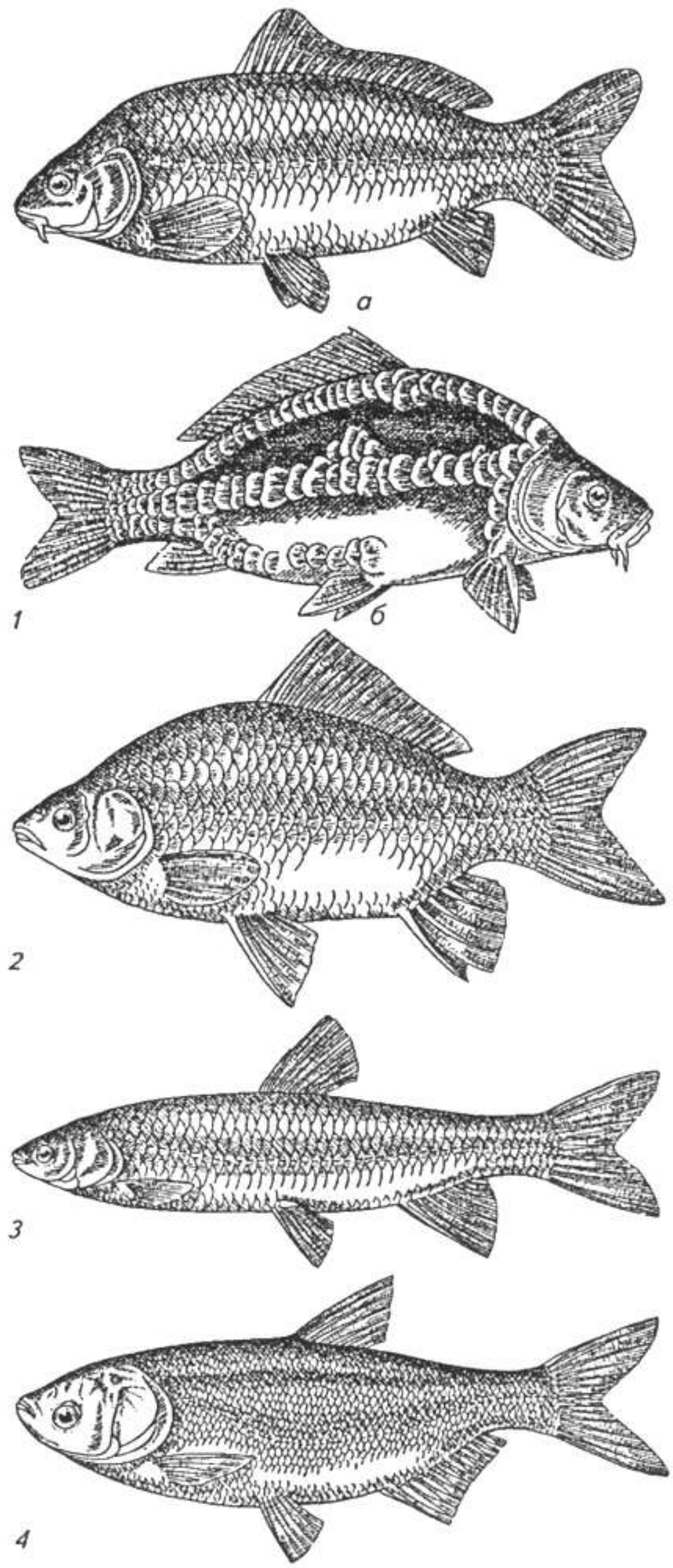


Рисунок 5 – Рыбы семейства карповых
(из Грищенко Л. И. и др., 1999):
1 – карпы: а – чешуйчатый; б – зеркальный; 2 – карась серебряный;3 – белый амур; 4 – белый толстолобик

ния составляет как водная, так и наземная растительность. Он относится к теплолюбивым рыбам, поэтому интенсивность питания возрастает с повышением температуры. При температуре воды 25-30°С суточный рацион может превышать массу тела (Грищенко и др., 1999). Необходимо учитывать, что при отсутствии в пруду растительности белый амур переходит на потребление комбикормов, при этом темп роста несколько снижается.

В прудах как специализированных, так и комплексного назначения амур хорошо растет. Двухлетки достигают массы 800-900 г (рис. 5).

Рыбоводные пруды Пензенской области обильно зарастают высшей водной растительностью, поэтому белого амура необходимо использовать в качестве биологического мелиоратора.

Естественно нереститься растительноядные рыбы в прудах не могут, поэтому их размножают заводским способом.

Белый и пестрый толстолобики. Толстолобики (рис. 5), как и амуры, акклиматизированы в наших водоемах из Китая и бассейна реки Амур. Они также как и амуры относятся к растительноядным рыбам, но отличаются по спектру питания. Белый толстолобик питается в основном фитопланктоном и детритом и только частично использует зоопланктон. Пестрый толстолобик поедает преимущественно зоопланктон и частично фитопланктон (Руководство …, 2000). Искусственными кормами эти рыбы не питаются.

В прудах Пензенской области двухлетки белого толстолобика достигают массы 300-400 г, пестрого толстолобика – 800-900 г. Их выращивают совместно с карпом и другими видами как добавочных рыб.

Буффало малоротый. Представитель североамериканской ихтиофауны. Используются как добавочные рыбы в карповые пруды. В питании преобладают организмы бентоса. В прудах Пензенской области двухлетки достигают массы 400-500 г. Буффало потребляет искусственные корма. По пищевым и вкусовым качествам не превосходит карпа.

Пелядь (сырок). Пелядь относится к ценным сиговым рыбам и является главным объектом акклиматизации и рыбоводства Северо-запада России, Урала, Сибири, Средней Азии. Она обладает

таким нежным мясом, что на её засолку достаточно двух часов, отсюда второе её название – сырок.

Главное требование к выращиванию пеляди – хорошие гидрохимические показатели пруда. Пелядь питается зоопланктоном, искусственные корма не потребляет. Её можно выращивать в монокультуре, но обычно она идет главным добавочным видом к карпу в тех водоемах, где не используются растительноядные рыбы. Двухлетки достигают массы 300-400 г (рис. 6).

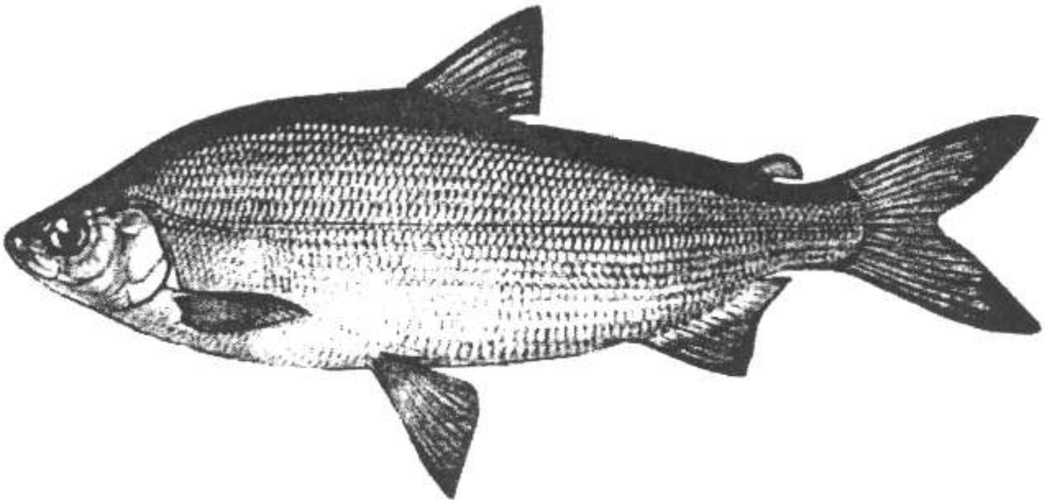


Рисунок 6 – Пелядь (из Привезенцева Ю. А., 2000)

В прудах пелядь не нерестится. Рыбопосадочный материал завозят из Новосибирской и других областей. В 70-х годах на центральной экспериментальной базе Гос НИОРХ «Ропша» (Ленинградская обл.) из природной популяции пеляди озера Ендырь (Западная Сибирь) выведена порода – Ропшинская пелядь. Она районирована для I-IV зоны рыбоводства.

Бестер. Выращиванию осетровых рыб в прудах в последние годы уделяется большое внимание. Бестер является гибридом белуги и стерляди. Он хорошо приспособлен к различным условиям выращивания. В прудах Пензенской области хорошо растет. Двухлетки достигают массы 800-900 г.

7 ДОБАВОЧНЫЕ И СОПУТСВУЮЩИЕ РЫБЫ, РАКИ, ВОДОПЛАВАЮЩИЕ ПТИЦЫ

Пруды Пензенской области в большой степени заселены видами, которые в прудовом рыбоводстве относятся к категории «сорные»: верховка, уклейка, плотва (красноглазка), быстрянка, ерш, окунь. Несмотря на небольшие размеры за счет высокой численности и прекрасного «аппетита» (по причине повышенного обмена веществ некоторых из них), они, поедая естественные и искусственные корма, являются конкурентами в питании ценным видам рыб, снижая рыбопродуктивность водоемов. Так, кормовой коэффициент карпа равен обычно – 4, а кормовой коэффициент верховки – 70 (Моисеев и др., 1981). Наличие же «сорных» рыб в нерестовых, мальковых и выростных прудах приводит к выеданию икры и молоди ценных видов рыб.

Уменьшить численность «сорных» рыб можно путем полного спуска пруда, установки заградительных сеток на водозаборах (водотоках), тотального облова мелкоячеистыми орудиями лова и с помощью «биологических мелиораторов» – ценных хищников.

Щука. Зарослевый хищник, придерживается постоянных мест на водоеме, заросших высшей водной растительностью, охотится не далеко от своего «дома» – участка. Достаточно обычный вид в прудах Пензенской области.

Личинок и мальков щуки сажают в нагульные пруды с годовиками карпа. Плотность посадки – 100-400 мальков на га. За сезон они вырастают до 30-ти см длины и 250 г веса. Соответственно рыбопродуктивность повышается на 30-40 кг с га. Более крупные щуки переходят на питание сначала больным и отстающим в росте карпом, а в последствие могут перейти и на товарную рыбу. Поэтому количество крупных особей щуки в нагульном пруду должно быть строго лимитировано – 1-2 шт. на га.

Судак. Пелагический хищник охотится в толще воды. Встречается в прудах Пензенской области. Судак требователен к кислороду и чистой воде, что характерно для глубоких проточных прудов. При посадке мальком требуется двухлетнее выращивание при достижении массы 300-500 г, норма посадки 900-2000

шт./га. При однолетнем выращивании с годовиком карпа сажают годовика судака в количестве 10-20 % от нормы посадки карпа.

Сом. В сравнении с судаком и щукой сом более приспособлен к жизни в пруду, так как обладает высокой жизнестойкостью и имеет более широкий спектр питания. Питается рыбой, лягушками, жуками, пиявками, погибшими водными животными и птицей.

Сом встречается в прудах Пензенской области. Мальком в карповые пруды сома сажают из расчета 200-560 экз./га. Годовичков из расчета 100-150 шт./га, при этом к концу года он достигает 1кг.

Форель. Радужная форель в небольших количествах в 70-80-х годах выращивалась в Пензенской области. Она, как и судак, требовательна к качеству воды и высокому содержанию кислорода. Кроме того, форель относится к холодноводным рыбам, оптимальная температура для неё выращивания 14-18°С. Питается форель мелкой рыбой, донными организмами, воздушными насекомыми, специализированными форелевыми кормами.

В карповые пруды годовиков форели можно подсаживать в количестве 10 % от численности годовиков карпа (при его разреженных посадках), при этом двухлетки форели могут достигать 350-450 г. Отдельно форель выращивают преимущественно в садках.

Линь. По вкусовым качествам линь не уступает карпу, а сваренный в молоке – форели. От карпа линь отличается замедленным ростом, его двухлетки достигают массы 70 г, трехлетки – 370 г. За то линь устойчив к дефициту кислорода и хорошо живет там, где не способна выжить другая ценная рыба. Поэтому он встречается преимущественно в малых прудах пензенских рыбоводов любителей.

Линя выращивают как добавочный вид в поликультуре с карпом. В монокультуре его целесообразно выращивать только при трехлетнем обороте. Нормы посадки годовиков линя до 6000 шт. на га, двухгодовиков – 2000 шт./га. В целом рыбопродуктивность по линю выше рыбопродуктивности по карпу на 20 %. Линь перспективный объект рыбоводства для многочисленных пензенских прудов, плохо приспособленных для товарного выращивания карпа.

Карась, карасе-карповые гибриды. Карась всегда пользуется спросом в Пензенской области и присутствует практически во всех прудовых хозяйствах. Карася выращивают как добавочный вид с карпом. Но выгоднее его выращивать с линем, которому он близок по темпу роста и повышенной выживаемости. В качестве добавочной рыбы карася выращивают при плотности посадки годовиков 1000 шт. на га. При выращивании в монокультуре – до 10 тыс. шт. на га.

Карасе-карповые гибриды были получены в 1977 году. Они отличаются повышенными вкусовыми качествами. Как карась – повышенной выживаемостью и плотностью посадки, как карп – хорошим темпом роста, достигая в двухлетнем возрасте – 370-400 г.

Лещ. Лещ относится к объектам рыбоводства и некоторыми любителями запущен в пруды пензенской области. Однако, в прудах, в основном, выращивают посадочный материал леща для зарыбления его в водохранилища (Козлов и Абрамович, 1980). До товарной рыбы в прудах леща выращивать не выгодно из-за низкого темпа роста. Так, в Сурском водохранилище лещ достигает веса 500 г в 6 лет, 1 кг в 8 лет. При этом популяция сурского леща считается достаточно быстрорастущей в сравнении с лещом других регионов России.

Из осетровых рыб, кроме бестера, в прудах Пензенской области можно выращивать стерлядь и веслоноса.

Стерлядь. Стерлядь являлась обычным видом в реке Суре (Клевакин и др., 2003). По устным сообщениям, она здесь встречается и в настоящее время. Обитает стерлядь в Сурском водохранилище, куда зарыблялась искусственно. Стерлядь – единственный из осетровых пресноводный вид, обитающий на территории России. Поэтому до создания гибрида – бестера, она с XIX века была главным объектом осетроводства в прудах. Основу питания стерляди составляют личинки насекомых. В прудах стерлядь растет достаточно быстро и достигает товарной массы.

Веслонос. Веслонос в СССР был завезен из США. Это единственный представитель отряда осетрообразных, питающийся планктоном. При его выращивании в прудах масса сеголеток достигает 380 г, двухлеток – 1-1,5 кг. Выращивание веслоноса от стадии личинки до сеголетка опробовалось на прудовом хозяйст-

ве Савенкова Л. И. в Кузнецком районе, где подтвердились его высокий темп роста и выживаемость.

Раки. В пензенских прудах в настоящее время в достаточно большом количестве встречаются раки. Раки являются высокоценным продуктом питания. Их стоимость в 2 и более раза выше стоимости карпа. Товарным рак считается при достижении длины 9 см. В прудах он таких размеров достигает при двухлетнем выращивании. Наиболее эффективным считается совместное выращивание рака с карпом и растительноядными видами рыб в прудах, где грунты позволяют копать норы. Плотность посадки годовиков рака (с годовиками карпа) до 5 экз. на 1 м^2. Возможный выход – 2-8 ц/га.

7.1 Карпоутиные, карпогусиные хозяйства

Совместное выращивание рыбы и водоплавающей птицы является одним из наиболее перспективных методов использования прудов в Пензенской области. При этом, выход продукции рыбы и птицы может быть выше, чем при их раздельном выращивании. Утки и гуси питаются, в основном, мягкой водной и луговой растительностью, замедляет рост жесткой водной растительности, очищая тем самым водоем, разрыхляют дно прудов, способствуя разложению органического вещества. Их помет является ценным органическим удобрением, что позволяет отказаться от внесения минеральных удобрений и сократить затраты кормов для карпа на 25-30 %, а также повысить рыбопродуктивность в 2 и более раз. С другой стороны увеличивается темп роста уток и гусей, снижается количество кормов на их выращивание, повышается воспроизводительная способность птицы (Черномашенцев и Мильштейн, 1983).

Уток выращивают на нагульных прудах площадью от 5 до 50 га, проточных, зарастающих водной растительностью. Нормы посадки (на мелководья с глубинами до 2-х метров) без кормления концентрированными кормами – 10 шт./га, с кормами – 100-250 шт./га. В пруды утят сажают через две недели после посадки годовиков рыб. Выращивают их 7-8 недель до веса 2,5-3 кг (до

начала линьки). В III рыбоводной зоне за сезон выращивают по две партии уток.

Для выращивания гусей совместно с рыбой требуется наличие лугов вокруг пруда, так как они питаются преимущественно луговыми травами. Гусят выпускают в возрасте 3-4 недель. С использованием комбикормов нормы посадки определяются либо из расчёта 20-60 шт./га побережья, либо 50-300 шт./га водной площади. В зависимости от породы (мясная или мясо-пушная) гусей выращивают от 2-х до 6-ти месячного возраста до товарной массы 4-4,5 кг. Выход товарной продукции гусей составляет от 0,2 до 1,5 т/га.

В Междуреченском рыбхозе (Каменский район) опробовано совместное выращивание карпа и небольшого количества уток и гусей. Руководитель хозяйства планирует и дальше выращивать птицу, оставляя приоритет за гусями.

8 РАЗВЕДЕНИЕ И ВЫРАЩИВАНИЕ ПРУДОВЫХ РЫБ

Выращивание прудовых рыб в полносистемных специализированных хозяйствах и в прудах комплексного назначения отличается лишь тем, что последние предназначены только для выращивания товарной рыбы, так как они не совсем подходят для нереста рыб, подращивания личинок и получения рыбопосадочного материала. Поэтому в специализированных полносистемных хозяйствах формируется стадо производителей, осуществляется воспроизводство рыб, проводится выращивание посадочного материала, а также предусмотрена зимовка молоди и производителей.

В Пензенской области имеется несколько специализированных хозяйств – это Телегинский рыбхоз (Колышлейский район), СПК «Дальний» (Никольский район), рыбхоз «Тройка» (Городищенский район), Порзовский рыбхоз (Р. Камешкирский район) и др.

В этих хозяйствах имеется стадо производителей, в основном, Среднерусская порода карпа. Помимо выращивания карпа, например, Телегинский рыбхоз ежегодно завозит личинок растительноядных рыб (белый амур, белый толстолобик, пестрый толстолобик), личинок буффало и пеляди, а также годовичков осетровых (бестер).

Кроме того, посадочный материал завозится из рыбхозов Ульяновской, Саратовской, Воронежской областей и Мордовии.

Нерест производителей и получение личинок карпа. Предварительная подготовка нерестовых прудов проводится за четыре – пять дней до пересадки производителей. Пруды заливают водой и вносят из расчета на гектар водной поверхности: навоз – 5 т; аммиачную селитру – 50 кг; суперфосфат – 50 кг. Растительность (камыш, тростник) скашивают, подвяливают и снопами укладывают по урезу воды.

В прудах устраивают гнёзда. Для этих целей можно использовать ветки деревьев хвойных пород.

Пересадку производителей проводят при температуре воды 16-17^{o}С. Через неделю после пересадки, когда температура воды

достигнет 18-20^{o}С, наступает нерест производителей, а через три-четыре дня начинается выклев личинок.

В эмбриональный период развития личинки наиболее требовательны к температурным условиям и кислородному режиму пруда. Наиболее благоприятная температура от 19 до 22^{o}С. Оптимальное количество растворенного в воде кислорода должно составлять 7,0-7,2 мг/л.

Вес личинок 1-2-х дневного возраста – 3 мг, длина тела достигает 6,5 мм. К этому времени в нерестовом пруду начинает интенсивно развиваться зоопланктон, которым питаются личинки.

Темп роста личинок приведен на графике (рис. 7). В возрасте 12-13 дней средняя навеска личинок достигает 20 мг, длина тела 13 мм.

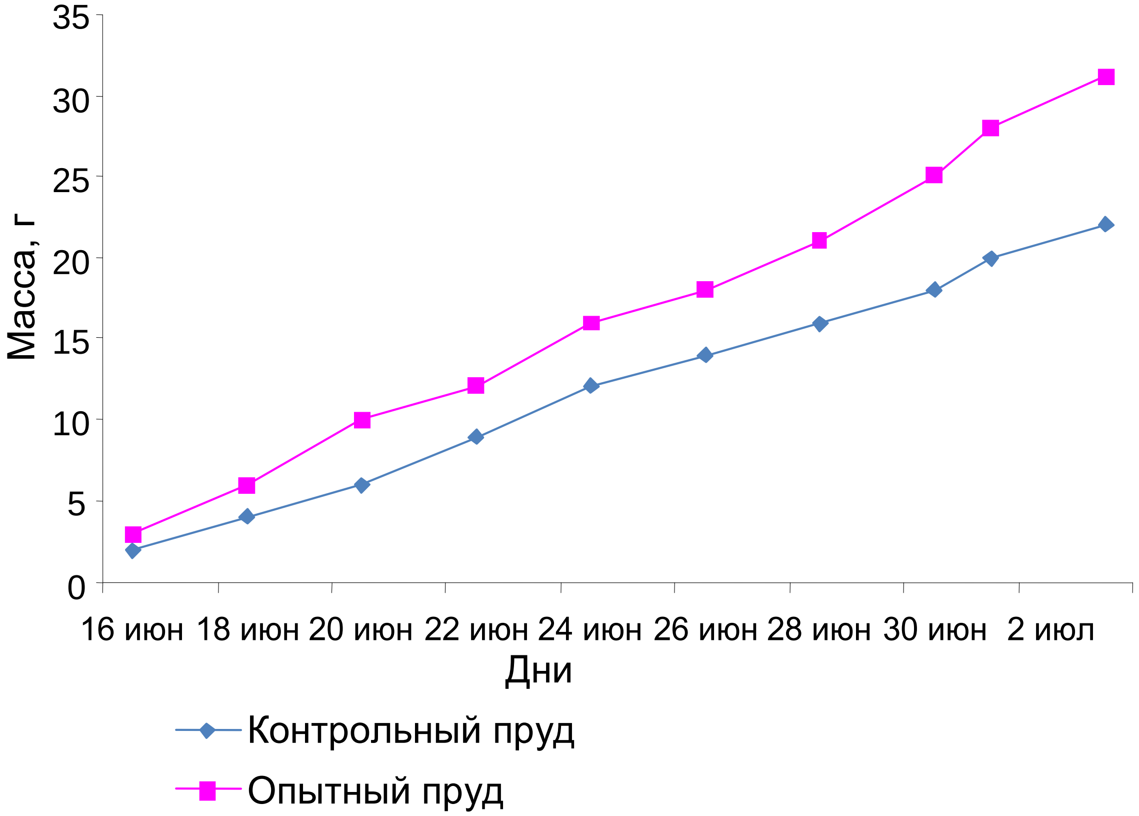


Рисунок 7 – Весовой рост личинок карпа в рыбоводных прудах рыбхоза «Тройка»

Через 8-10 дней после первого внесения удобрений в пруд повторно вносят аммиачную селитру в количестве 10 кг/га и по возможности альголизируют хлореллой.

В этот же период начинают подготовку выростного пруда. Его заливают водой, вносят органические и минеральные удобрения из расчета 50 кг/га аммиачной селитры и 25 кг/га суперфосфата, навоз из расчета 5 т/га.

Пересадку личинок проводят в начале июня. К этому периоду средняя навеска достигает 30 мг, длина тела 15 мм. Следует отметить, что темп роста молоди карпа в различные периоды выращивания неодинаковый. Наибольший относительный прирост отмечается у личинок на первом этапе развития, когда в среднем абсолютный привес составляет 1,5 мг в сутки, а относительный прирост за сутки – 13 %. С увеличением массы тела снижается относительный прирост, а в конце сезона у сеголеток он составляет 1,6 % (табл. 8).

Рассмотрим нерест производителей и получение личинок карпа на примере рыбхоза «Тройка» (Городищенский район). Водоснабжение прудов осуществляется из ручья Сбалки, впадающего в р. Юловка.

Прозрачность воды в весенний период, когда идет заполнение прудов, зависит от поступающих с водой взвешенных веществ минерального происхождения. В этот период чаще всего вода окрашена в желтый цвет из-за обилия глинистых частиц желтого цвета. Летом, в период интенсивного развития планктонных водорослей, вода окрашена в зеленый цвет, и прозрачность её снижается до минимальных величин. Осенью ко всем перечисленным факторам еще добавляется интенсивное взмучивание рыбой донных отложений.

Минимальная прозрачность воды в нерестовом пруду наблюдалась 27 мая (45 см), максимальная – в июне (120 см).

Важнейшим фактором среды обитания рыб является температура воды. Средневолжский регион характеризуется неустойчивым температурным режимом. Так, например, в 1996 г. в середине мая она достигла 22°С, а к концу месяца и весь июнь держалась на уровне 17-19°С (табл. 6).

Кислородный режим нерестового пруда за весь период выращивания личинок был благоприятным. Содержание растворенного кислорода ниже 4,7 мг/л не опускалось. Максимальная величина составила 7,2 мг/л в мае.

Таблица 6 – Физико-химические показатели воды нерестового пруда рыбхоза «Тройка» за 1996 год

Пруд	Прозрачность, см	Температура, °C	pH	Кислород, мг/л
16 мая				
Нерестовый	60	22,0	6,9	7,2
27 мая				
Нерестовый	45	17,7	6,8	6,5
3 июня				
Нерестовый	120	17,0	7,1	4,7
16 августа				
Выростной	55	19,0	8,2	9,6

Фитопланктон в нерестовом пруду в начальный период развития был представлен, в основном, диатомовыми водорослями. Далее произошла смена видов и в планктоне начали преобладать представители зеленых водорослей. К периоду пересадки личинок из нерестового пруда в выростной преимущественное положение заняли синезеленые водоросли, из которых в массе развивался Microcystis aeruginosa.

Численность водорослей в рыбоводных прудах была связана с интенсивностью их использования зоопланктоном. Чем интенсивней развивался зоопланктон, тем меньше была остаточная численность и биомасса фитопланктона. Так в нерестовом пруду численность водорослей была от 2 до 17 тыс. кл./мл при достаточно низкой биомассе во все периоды выращивания личинок.

Следует указать, что лишь к концу сезона (август), когда уже молодь подросла и перешла на смешанное питание, заметно увеличилась численность и биомасса фитопланктона.

Ранее было упомянуто, что фитопланктон и бактерии активно используются в пищевом рационе зоопланктона, биомасса которого в летний период держится на высоком уровне. Это положение особенно актуально для нерестовых прудов, где интенсификационные мероприятия направлены на поддержание биомассы зоопланктона на высоком уровне, т. к. он является основным кормом для личинок карпа.

Анализ количества сапрофитных форм бактерий показал, что их численность была невысокой. Существенных различий численности сапрофитов в нерестовом и других прудах не отмечено. Скорее всего, это было связано с интенсивным использованием бактерий в пищевом рационе зоопланктона (табл. 7).

Таблица 7 – Микробиологические показатели прудов рыбхоза «Тройка» в 1996 году

Пруды	Фитопланктон, тыс. кл./мл	Сапрофиты, тыс. кл/мл
16 мая		
Нерестовый	2,4	1,1
27 мая		
Нерестовый	17,6	1,4
3 июня		
Выростной	4, 2	2,4
16 августа		
Выростной	15,5	1,8

Процессы интенсификации рыбоводных прудов, направленные на увеличение численности и биомассы микроорганизмов, способствовали интенсивному развитию зоопланктона в прудах. Немаловажную роль здесь сыграла и подвяленная растительность, разложенная по урезу воды опытного пруда. Разложение растительности шло при участии в этом процессе большого количества микроорганизмов.

Видовой состав зоопланктона не отличался большим разнообразием. Наиболее многочисленны были босмины, на втором месте стояли дафнии. Представители остальных видов были очень малочисленны.

Биомасса зоопланктона в нерестовом пруду была на достаточно высоком уровне в течение всего периода выращивания личинок.

Предварительная подготовка нерестовых прудов была проведена за четыре дня до пересадки производителей карпа. Пруды

были залиты водой и в них внесли из расчета на гектар водной поверхности: навоза – 5 тонн; аммиачной селитры – 50 кг; суперфосфата – 50 кг. Скошенная и повяленная растительность снопами была уложена по урезу воды. Всего уложили 60 снопов.

В нерестовом пруду устроили пять гнезд для нереста карпа. При температуре 17°С 10 мая были посажены производители Среднерусской и Украинской породы, в соотношении 2 самца на одну самку. 16 и 17 мая в пруду прошел дружный нерест. Температура воды была 20°С.

Начало выклева личинок было отмечено 19 мая, а 20 мая отдельные личинки начали активно плавать. В эмбриональный период развития личинки наиболее требовательны к температурным условиям и кислородному режиму пруда. Температура оказалась вполне благоприятной и колебалась в течение суток от 19 до 22°С. Растворенного в воде кислорода было оптимальное количество – 7,0-7,2 мг/л.

Вес личинок 1-2-х дневного возраста был – 3 мг, длина тела – 6,5 мм. К этому времени в опытном пруду началось интенсивное развитие зоопланктона, в основном, это были босмины и дафнии, последних было несколько меньше.

В возрасте 12-13 дней средняя навеска личинок в нерестовом пруду равнялась 20 мг, длина тела 13,7 мм.

27 мая 1996 г. в нерестовый пруд повторно внесена аммиачная селитра в количестве 10 кг/га и произведена альголизация воды хлореллой. В этот же период начали подготовку выростного пруда. Он был залит водой, внесены органические и минеральные удобрения из расчета 50 кг/га аммиачной селитры и 25 кг/га двойного суперфосфата. Навоз был внесен из расчета 5 т/га. По урезу воды разложили снопы подвяленной растительности – 200 снопов.

Пересадку мальков начали 3 июня. К этому периоду средняя навеска личинок в опытном пруду составила 31,2 мг, длина тела – 14,4 мм.

В нерестовом пруду получено 1,1 млн. личинок. Следовательно, от каждой самки получено по 220 тыс. личинок.

Таким образом, личинки были пересажены в 18-19 дневном возрасте в выростной пруд в довольно активном состоянии.

Таблица 8 – Весовой рост молоди карпа в прудах рыбхоза «Тройка» в 1996 году

Пруд	Месяц	Число	Вес рыбы в конце периода		Число дней между отловами	Прирост			
						За период		За сутки, мг	Относительный за сутки, %
			мг	г		мг	г		
Нерестовый	май	16	3	-	1	3	-	3,0	-
Нерестовый	май	27	20	-	11	17	-	1,5	13,0
Нерестовый	июнь	3	31	-	7	11	-	1,5	5,9
Выростной	август	16	-	6,0	64	-	5,7	90,0	2,9
Выростной	октябрь	21	-	18,8	65	-	12,8	197,0	1,6

Выращивание сеголеток карпа. Личинок из нерестовых прудов пересаживают в выростные, которые должны быть подготовлены заранее. Заливают пруды за 10-15 дней до посадки личинок и вносят удобрения.

Основная цель при выращивании молоди заключается в получении сеголетков стандартной массы и упитанности. Это необходимо для обеспечения хорошей зимовки, сохранности рыбы и при выращивании для получения товарной рыбы.

Плотность посадки в выростные пруды при кормлении сеголетков составляет 40-50 тыс. шт./га.

Для определения темпа роста рыбы в течение всего вегетационного периода проводят контрольные обловы не менее 2 раз в месяц.

Средняя масса сеголетков определяется путем взвешивания всей выловленной рыбы и делением полученной общей массы на количество выловленных экземпляров.

Проведение контрольных обловов позволяет своевременно установить болезни рыб, которые могут появиться в пруду или определить характер питания для устранения отставания в росте прудовых рыб.

Из выростных прудов рыбу пересаживают в зимовальные при достижении температуры воды 8-6^{o}С (в октябре).

Перед посадкой в зимовальные пруды необходимо определить среднюю штучную массу и упитанность. Стандартная масса сеголетков карпа должна составлять 25-30 г, коэффициент упитанности ($К_у$) не менее 3,0. К нестандартным относятся сеголетки карпа менее 20 г, а массой менее 10 г – к «браку». За период зимовки потери по массе тела не должны превышать 10-15 % (Привезенцев, 2000)

Экспериментальное выращивание рыбы проводилось на прудах рыбхоза «Тройка» Городищенского района. Площадь выростного пруда составляла два гектара.

Важнейшие физико-химические показатели выростного пруда приведены в табл. 9. Наибольшая прозрачность воды была отмечена в первых числах июня, сразу после залития пруда водой. Интенсивное развитие планктона привело к снижению прозрачности в июле до уровня 25 см. В сентябре, когда активность биологических процессов снизилась, прозрачность воды достигла 70 см по диску Секки.

Таблица 9 – Физико-химические показатели воды выростного пруда рыбхоза «Тройка» за 1997 год

Месяц	Прозрачность, см	Температура воды, °С	pH	Кислород, мг/л
Июнь	110	25,0	7,0	8,2
Июль	25	24,0	7,7	8,6
Август	30	15,0	6,9	6,1
Сентябрь	70	11,0	8,2	6,1

Температурный режим в прудах в 1997 году был вполне благоприятный для выращивания рыб. Так, сразу после зарыбления пруда с начала июня установилась достаточно высокая температура воды (25°С) и держалась до конца июля. Постепенное снижение началось в августе (15°С) и в сентябре она достигла 11°С. Учитывая то, что вода в пруды поступает из отстойника, поэтому резких колебаний температуры в прудах не наблюдалось.

Кислородный режим в выростном пруду в течение всего вегетационного периода был благоприятным. Содержание растворенного кислорода было в пределах от 6 до 9 мг/л.

Величина водородного показателя за вегетационный период была сравнительно стабильной. Лишь в сентябре pH сдвинулся в щелочную сторону (8,2), однако и этот показатель находится в пределах нормативных величин для прудового рыбоводства.

В течение всего вегетационного периода в пруду в массе развивались синезеленые, диатомовые и зеленые водоросли. Это были представители родов: Microcystis, Synedra, Scenedesmus и Ankistrodesmus. В июле произошла смена у синезеленых. Из планктона выпал Microcystis aeruginosa и вместо него наблюдалось массовое развитие Anabaena variabilis. Из зеленых водорослей выпал род Ankistrodesmus и вместо него появились представители рода Pediastrum. В августе в видовом составе водорослей изменений не наблюдалось. В сентябре после двухмесячного массового развития Anabaena variabilis, ей на смену пришла Aphanizomenon flos-aquae. Зеленые водоросли были представлены родами Scenedesmus и Chlorella.

Следует отметить, что за весь период вегетации из планктона не исчезали представители диатомовых водорослей род Synedra и из зеленых представители рода Scenedesmus.

Общая численность фитопланктона (табл. 10), как и его видовой состав, теснейшим образом связаны с протекающими в пруду биологическими процессами. Она зависит от обеспечения прудов биогенами и органическими веществами, а также от уровня изъятия биомассы фитопланктона его потребителями. При массовом развитии синезеленых водорослей, биомасса некоторых видов не используется, они могут накапливаться в пруду в значительных количествах. В выростном пруду такая картина наблюдалась в июле, когда в массе развивалась Anabaena variabilis. Высокая численность и биомасса этой водоросли не могла служить показателем благополучия кормовой базы рыбоводного пруда. Для снижения влияния синезеленых водорослей была проведена альголизация пруда хлореллой.

Численность бактерий, как и фитопланктона, имеет существенное значение в прудовой экосистеме. Наибольшее количество бактерий было в июле, показатели остальных месяцев были довольно низкими.

Перед зарыблением личинок в выростной пруд были внесены органические и минеральные удобрения, что способствовало

Таблица 10 – Общая численность бактерий и фитопланктона в выростном пруду рыбхоза «Тройка» в 1997 году

Месяц	Бактерии, тыс. кл/мл	Фитопланктон, тыс. кл/мл
Июнь	385	11,7
Июль	4267	56,3
Август	617	4,6
Сентябрь	209	8,1

интенсивному развитию планктона. Следует полагать, что запас биомассы бактерий для зоопланктона был достаточным, т. к. он присутствовал в образцах прудовой воды в течение всего вегетационного периода. Зоопланктон был, в основном, представлен босминами. Дафнии в видовом составе занимали второе место. Остальные виды были немногочисленными.

Личинки были пересажены в выростной пруд в начале июня при температуре воды 25°C. Содержание растворенного кислорода было 8,2 мг/л, pH 7,0. В пруд посадили личинок из расчета 50 тыс. шт./га. Средняя навеска личинки составила 30 мг.

Высокий темп развития кормовой базы в июне способствовал интенсивному росту молоди, поэтому за первый месяц она достигла навески 4,6 г. Суточный привес был самым высоким за сезон и составил 217 мг. Темп роста рыб значительно увеличился с началом подкормки рыбы комбикормами. Так, в конце июля средний вес молоди составил 14 г, т. е. привес был 9,4 г. Суточный привес оказался меньшим, чем в июне и составил 200 мг (табл. 11). В августе-сентябре привес оказался еще ниже и составил 190 мг. К концу сентября прирост рыбы практически закончился. В это время рыба уже не питалась, температура воды снизилась до 10°C.

К периоду облова средняя навеска сеголетков составила 22 г. Упитанность рыб была хорошей ($К_у$ = 3,0). В контрольном пруду молодь развивалась значительно слабее и достигла в среднем навески 7 г. Выход сеголетков в опытном пруду был 96 %, в контрольном 72 %.

Таблица 11 – Весовой рост молоди карпа в выростном пруду рыбхоза «Тройка» в 1997 году

Месяц	Вес рыбы в конце периода, г	Число дней между обловами	Прирост		
			за период, г	за сутки, мг	относительный за сутки, %
Июнь	0,030	-	-	-	-
Июль	4,6	21	4,57	217	0,93
Август	14,0	47	9,40	200	0,21
Сентябрь	22,0	42	8,00	190	0,10

8.1. Выращивание товарного карпа

Для выращивания товарного карпа желательно иметь стандартный посадочный материал (25-30 г.). Однако для этих целей можно использовать рыб с различными навесками, которые могут быть больше или меньше стандартных. Посадочный материал, у которого средняя масса одной головы меньше 20 грамм, относится к категории брака. При использовании посадочного материала категории брака плотность посадки должна быть несколько ниже нормативной. Посадочный материал, превышающий стандартные навески, растёт значительно лучше, и двухлетки могут достигнуть навесок 1,3-1,5 кг. Так, в Степановском пруду комплексного назначения (Лунинский район) при осенней посадке сеголетков массой 110 г, они в возрасте двухлетков достигли массы 1,5 кг.

Следовательно, когда нет возможности выбрать стандартный посадочный материал, можно использовать рыб различных категорий.

Зачастую в прудовом рыбоводстве складывается ситуация, когда в качестве посадочного материала приходится использовать 2-х и 3-х годовиков. При зарыблении прудов таким посадочным материалом необходимо соблюдать нормативы и использовать все предусмотренные меры интенсификации выращивания рыб. Темпы роста этих рыб не ниже, чем у годовиков.

Плотности посадки карпа для выращивания товарной рыбы зависят от назначения прудов, которые предполагается использовать. Для специализированных прудов можно применять нормативные посадки, а при использовании прудов комплексного назначения необходимо учитывать глубину пруда, зарастаемость высшей водной растительностью, водный режим пруда и пр.

Например, пруд комплексного назначения площадью 20 га имеет нагульную площадь (участки, с глубинами менее 2-х метров) 10 га. С этой площади планируется получить 500 кг/га. Масса двухлетков к осени 0,5 кг, средняя масса посадочного материала годовиков 0,05 кг, выход рыбы от посаженного количества 80 %. Посадка на гектар составит:

$$x = (500 \cdot 1 \cdot 100) : (0{,}5 - 0{,}05) \cdot 80 = 1400 \text{ экз.}$$

Зарыбление можно проводить осенью сеголетками или весной годовиками. Пруды комплексного назначения позволяют проводить осеннее зарыбление, которое предпочтительнее весеннего. В этих прудах имеются глубоководные участки (10-20 м) и большой объем воды, в связи с этим рыба не испытывает кислородного голодания и скученности, поэтому отхода за зимовку практически не отмечается.

Выращивание карпа при осеннем зарыблении рассмотрим на примере Чирковского пруда. Осенью 1997 года вода из пруда была выпущена, дно просушено, после чего начали заполнение пруда. Затем пруд был зарыблен сеголетками карпа (21 октября). Температура воды была 5,5°С. Всего было зарыблено 25 тыс. штук. Отхода рыб при зарыблении не отмечалось. Выпуск сеголетков проводили в приплотинной части пруда на глубоководном участке. Плотность посадки составила 1,4 тыс. экз. на гектар. Средняя навеска равнялась 11 г. Рыба в пруду выращивалась в монокультуре.

Важнейшие физико-химические показатели Чирковского пруда комплексного назначения приведены в табл. 12.

Как видно из таблицы 12, наибольшая прозрачность отмечалась в начале июня – 150 см. Затем прозрачность понижалась, и в августе, в период «цветения» синезелёными водорослями достигла 20 см. Но в начале сентября, со спадом в развитии водорослей, прозрачность снова повысилась и достигла 60 см.

Таблица 12 – Физико-химические показатели воды Чирковского пруда в 1998 году

Дата отбора проб	Прозрачность, см	Температура, °C	pH	Кислород, мг/л
май, 13	36	12	8,3	11,3
июнь, 2	150	23	8,0	9,1
июнь, 16	100	28	7,8	3,0
июль, 7	90	20	8,3	4,2
июль, 23	50	26	8,4	6,0
август, 19	20	19	8,0	7,0
сентябрь, 2	60	16	7,8	9,2

Температурный режим в пруду в 1998 г. был вполне благоприятный. Резких колебаний температуры не отмечалось, за исключением июля, когда наблюдалось краткосрочное снижение до 20°C.

Кислородный режим в пруду изменялся в зависимости от сезона года. Весной (май) и осенью (сентябрь) растворённого кислорода в воде было больше, чем в летние месяцы. До нижней границы (3 мг/л) кислород снижался во второй половине июня, чему, вероятно, способствовала высокая температура воды и недостаточное развитие фитопланктона.

Величина водородного показателя находилась в пределах от 7,8 до 8,4. Наименьшие показатели были отмечены в июне и сентябре, что было, видимо, связано со снижением интенсивности развития фитопланктона.

Видовой состав фитопланктона в течение вегетационного периода был разнообразным. В мае фитопланктон был представлен только диатомовыми водорослями. В этот период он был беден как по видовому составу, так и по численности. В июне разнообразие видового состава увеличилось, однако диатомовые занимали доминирующее положение. В планктоне появились представители зелёных водорослей родов: Pediastrum, Volvox, Ulothrix. Синезелёные водоросли были представлены одним родом Anabaena. Для развития фитопланктона июнь был благоприятным, и общая численность его составила 5,4 тыс. кл/мл.

В июле началось «цветение» синезелёными водорослями, которое продолжалось до конца августа. Видовой состав был более разнообразным по сравнению с другими месяцами. Доминирующее положение заняли зелёные водоросли, среди которых особенно многочисленными были представители родов Chlamydomonas, Pandorina, Ulothrix, Pediastrum. Синезелёные были представлены видами: Microcystis, Spirulina, Aphanizomenon. «Цветение» воды было вызвано Aphanizomenon.

В августе видовой состав несколько изменился. Диатомовые водоросли снова заняли преобладающее положение. Из зелёных наиболее многочисленным был род Pediastrum.

Общая численность клеток фитопланктона была сравнительно невысокой (табл. 13). Максимальные значения численности в июне и августе были за счёт диатомовых водорослей.

Таблица 13 – Общая численность бактерий и фитопланктона в Чирковском рыбоводном пруду в 1998 году

Дата отбора проб	Бактерии, тыс. кл./мл	Фитопланктон, тыс. кл./мл
май, 13	1099	1,0
июнь, 10	358	5,4
июль, 7	186	2,0
июль, 23	392	1,5
август, 19	143	3,7

По общей численности бактерий Чирковский пруд можно отнести к категории олиготрофных водоёмов. Лишь в мае, когда фитопланктон развивался слабо, общая численность бактерий превысила 1 млн. кл./мл. Весь остальной период численность бактерий составила 150-300 тыс. кл./мл.

Благодаря проведенным мерам интенсификации (удобрение пруда и кормление рыбы) газовый режим пруда был благоприятным, а развитие естественной кормовой базы, которое было на достаточно высоком уровне, позволило получить двухлетков карпа массой 800 г. Рыбопродуктивность составила 9 ц/га.

Совместное выращивание карпа и пеляди. В 1995 г. Чирковский пруд был зарыблен карпом и пелядью в качестве доба-

вочной рыбы. Плотность посадки карпа составила 1400 экз./га. Всего было зарыблено 25000 шт. годовиков средней навеской 5 г. Пелядь зарыбили 1100 экз. средней навеской 27 г.

Для развития кормовой базы в пруд был внесён навоз из расчёта 5 т/га. В течение лета по поверхности пруда разбрасывали аммиачную селитру по 50-100 кг каждые 10 дней. Всего было израсходовано 500 кг удобрения.

Систематическое кормление рыбы было начато в мае, когда в пруду установился благоприятный термический режим. Кормовой рацион состоял из зерносмеси и подсолнечного жмыха. Всего было израсходовано 6230 кг корма.

Рыба выращивалась в течение 100 дней. Средний суточный привес карпа за весь период выращивания составил 4,5 г.

Темп роста пеляди приведен на рис. 8. Обилие зоопланктона способствовало исключительно высокому темпу роста и упитанности этой рыбы. При облове пруда (август) средняя навеска составила 310 г. Пелядь отличалась хорошими вкусовыми качествами.

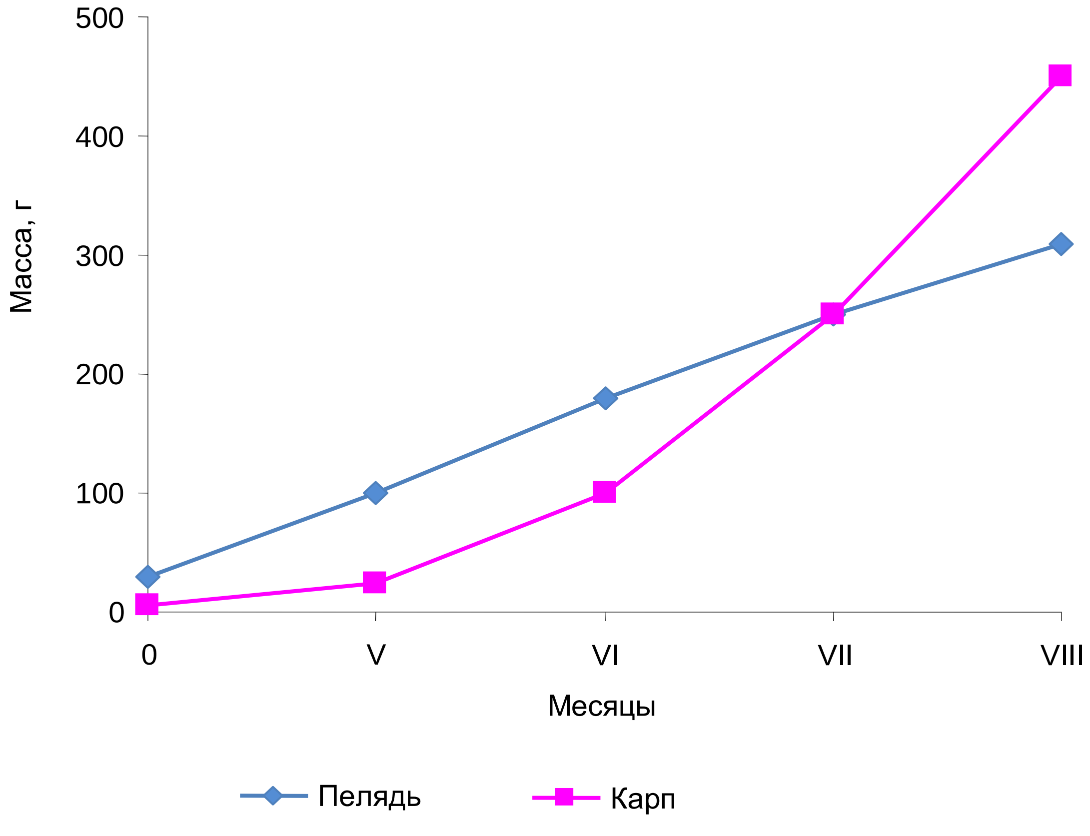


Рисунок 8 – Весовой рост рыбы в Чирковском пруду

Выращивание карпа в поликультуре с растительноядными и чукучановыми рыбами. Зарыбление Чирковского пруда проводилось годовиками карпа, белого толстолобика, белого амура и малоротого буффало., общим количеством 9450 шт. и весом 300 кг. Средняя навеска по видам рыб составила: карп – 33 г (2370 шт.); белый толстолобик – 35 г (2300 шт.); белый амур – 49 г (2420 шт.); буффало – 10 г (2300 шт.). Через месяц (16 июня) проведено дополнительное зарыбление личинками карпа в количестве 20 тыс. шт. со средней навеской 30 мг. Плотность посадки по каждому виду годовичков составила 128 шт./га, а в общей сложности по всем видам 510 шт./га. Совместно с личинками плотность посадки составила 1590 шт./га (в т. ч. личинки 1080).

При выращивании рыбы в поликультуре конечный результат во многом зависит от мероприятий, направленных на интенсификацию биологических процессов, протекающих в пруду. К важнейшим из них относится удобрение пруда, за счёт чего достигается усиление естественной кормовой базы. С этой целью, на протяжении вегетационного периода систематически вносилась аммиачная селитра и навоз крупного рогатого скота. В верхней части пруда, где расположена мелководная зона, единовременно вносилось 50-100 кг селитры и 3-5 тонн навоза. Через некоторое время после удобрения пруда начинается «цветение» воды, затем наблюдается увеличение количества зоопланктона. Усиленное развитие кормовых организмов отмечалось только в зоне внесения удобрений. За вегетационный период в пруд было внесено в общей сложности 1,0 т аммиачной селитры и 60 т навоза. Кратность внесения составила 10 раз.

Не менее важным фактором интенсификации является кормление рыбы. Систематическое кормление было начато 15 июня. В кормовой рацион входил подсолнечный жмых и зерноотходы. Кормление рыбы проводили в верхней мелководной зоне пруда на строго установленных кормовых местах.

Благоприятные условия рыбоводного пруда и кормление положительно сказались на темпе роста рыб (табл. 14).

Рассмотрев рост рыбы по каждому отдельному виду, можно подвести следующие итоги.

Несмотря на то, что кормовая база белого толстолобика и буффало в целом была изобильная, однако товарных навесок эти

Таблица 14 – Весовой рост рыбы в Чирковском пруду в 2000 году

Вид рыбы	Дата	Вес рыбы в конце периода, г	Число дней между обловами	Прирост		
				за период, г	за сутки, г	относит. за сут., %
Карп (личинки)	16.06.	0,03	–	–	–	–
	02.07.	40	46	40	0,9	2,3
	18.08.	53	16	13	0,8	1,5
	26.09.	112	38	59	1,6	1,4
Карп (годовики)	15.05.	33	–	–	–	–
	01.07.	260	46	227	4,9	1,8
	18.08.	315	47	55	1,2	0,4
	26.09.	860	38	545	14,3	1,7
	03.10.	950	7	91	13,0	1,4
Белый амур	15.05.	49	–	–	–	–
	18.08.	705	94	656	7,0	0,9
	26.09.	710	38	5	0,1	0,01
	02.10.	750	6	40	6,7	0,8
Белый толстолобик	15.05.	35	–	–	–	–
	18.08.	281	94	246	2,6	0,9
	26.09.	294	38	13	0,3	0,1
	02.10.	375	6	81	13,5	3,6
Буффало малоротый	15.05.	10	–	–	–	–
	18.08.	211	94	201	2,1	0,9
	26.09.	287	38	76	2,0	0,6

виды рыб не достигли. Средняя навеска белого толстолобика при конечном облове составила 375 г. Средняя навеска буффало составила 287 г. Следует указать, что ни в одном из хозяйств области двухлетки этих видов рыб не достигли товарной навески. Так, в Алфёровском пруду (Пензенский район) средняя навеска белого толстолобика составила 400 г, а буффало 207 г. В Телегинском рыбхозе (Колышлейский район) навески составили соответственно 350 и 223 г.

Более высоким и интенсивным темпом роста отличались белый амур, карп и личинки карпа.

Наличие макрофитов в большом количестве по всему периметру водоёма и обилие подводной мягкой растительности, а также ряски, дало толчок интенсивному росту белого амура. Средняя навеска при конечном облове составила 750 г.

Из всех видов рыб поликультуры самый высокий темп роста был у карпа. Средняя его навеска составила 950 г. Необходимо также отметить высокий и равномерный его прирост за период и за сутки в целом.

Неплохие результаты показала и личинка карпа. Как уже отмечалось выше, наличие в пруду большого количества зоопланктона до самого спуска пруда способствовало хорошему росту личинки. Контрольный и конечный обловы показали, что упитанность у них была хорошая, средняя навеска составила 112 г.

Динамика роста исследуемых видов рыб по месяцам приведена на рис. 9.

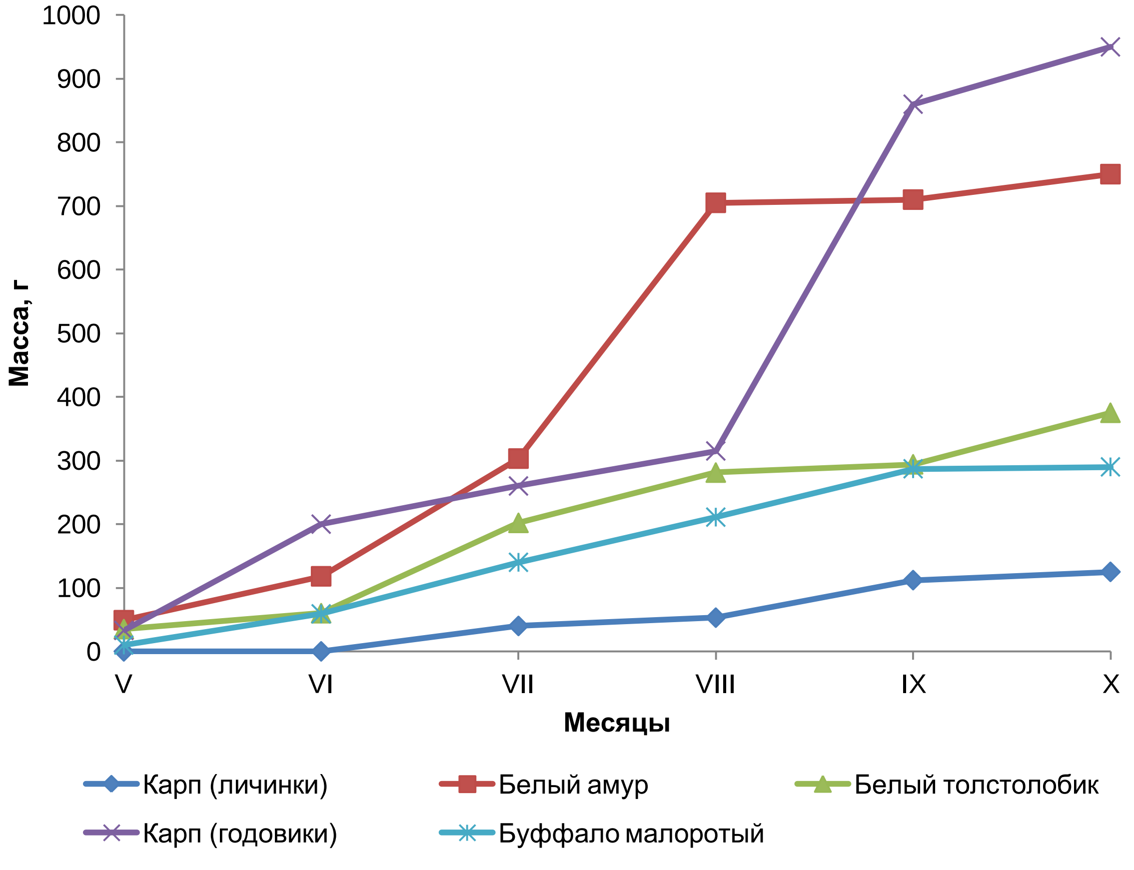


Рисунок 9 – Динамика роста рыбы в Чирковском пруду в 2000 г.

Наибольший темп роста исследуемых видов рыб отмечался в августе, причём для культуры карпа стабильно высокий ежесуточный прирост наблюдался также в сентябре.

В общей сложности получено 8 тонн рыбы, в т. ч. 2,2 тонны посадочного материала карпа. Рыбопродуктивность пруда составила 9 ц/га.

Выращивание карпа совместно с растительноядными и осетровыми рыбами. В 2002 году Чирковский пруд был зарыблен годовиками карпа (карп I категории) в количестве 29000 шт. со средней навеской 3,6 г и двухгодовиками (карп II категории) в количестве 1150 шт. со средней навеской 62,5 г. Растительноядные рыбы были представлены:

- белый толстолобик (годовик) – 1640 шт. со средней навеской 55 г;
- пёстрый толстолобик (годовик) – 86 шт. со средней навеской 55 г;
- белый амур (годовик) – 3465 шт. со средней навеской 22,5 г;

Дополнительно к перечисленным видам рыб в пруд также были посажены годовики бестера со средней навеской 170 г в количестве 10 шт. (табл. 15). Плотность посадки по карпу составила – 1452 шт./га, а по растительноядным – 288 шт./га.

Для удобрения пруда были использованы органические (навоз) и минеральные (аммиачная селитра) удобрения. Навоз был внесён в верхнюю часть пруда в количестве 30 тонн однократно в третьей декаде мая. Аммиачную селитру начали вносить с 1-ой декады июня, когда температура воды стабилизировалась и стала выше 15°С. Селитру вносили в сухом виде путём разбрасывания её с лодки по мелководной части пруда. В первые десять дней была израсходована одна третья часть аммиачной селитры – 500 кг, в остальное время вегетационного периода однократная норма внесения составила 100 кг с интервалом 7 дней. Всего было израсходовано с 3 июня по 18 августа 1,5 тонны аммиачной селитры.

При использовании минеральных и органических удобрений необходимо проводить контроль за развитием фитопланктона по изменению прозрачности воды. Когда развитие планктонных во-

Таблица 15 – Зарыбление и облов Чирковского пруда в 2002 году

Вид рыбы	Зарыбление				Вылов						Кормовой коэф.	Корм, кг	Селитра, кг	Навоз, т
	Посажено всего, шт.	Общий вес, кг	Средняя штучная навеска, г	Плотность посадки, шт./га	Выход, %	Выход всего, шт.	Средняя навеска, г	Вылов товарной рыбы, кг	Прирост, кг	Вылов товарной рыбы, кг/га				
Карп I к.	25000	90	3,6	1388	80	20000	280	5600	5510	311	2,4	14500	1500	30
Карп II к.	1152	72	62,5	64	85	979	600	587	515	33				
Белый толсто-лобик	1640	90	55	91	85	1394	473	659	576	37	-	-		
Пёстрый толсто-лобик	86	4,7	55	5	73	63	713	45	40,3	2,5	-	-		
Белый амур	3465	78	22,5	192	85	2945	500	1472	1394	82	-	-		
Бестер	10	1,7	170	1	80	8	750	6	4,3	0,2				
ИТОГО	31353	336,4	–	1741	–	25389	–	8369	8040	465,7	2,4	14500	1500	30

дорослей превышает необходимую норму (прозрачность воды по диску Секки менее 20 см), внесение биогенов следует приостановить и возобновляется только после достижения установленного градиента (более 20 см по белому диску).

При таком способе контроля за развитием фитопланктона и удобрения пруда достигается относительно равномерное и высокое развитие водорослей, стабильный кислородный режим и, в конечном счете, увеличение рыбопродуктивности.

Кормление карпа было начато с 4 июня. В состав кормового рациона входили следующие компоненты: пшеница – 54 %, овёс 41 %, нут (бобовые) – 4 %, ячмень – 1 %.

Нормативный состав сбалансированных кормов для выращивания сеголетков / товарной рыбы в %: жмыхи и шроты (не менее 2-х видов) – 35-50/30-40; зерно злаковых культур – 20-40/25-50; зерно бобовых культур – 10-15/5-10; отруби (пшеничные и ржаные) – 2-5/5-10; корма животного происхождения

(рыбная, мясная, мясокостная и кровяная мука) – 5-10/2-5; минеральные добавки (мел, обесфторенный фосфат) – 1-2/1-2 (Власов, Мустаев, 2004).

Все эти компоненты размалывались и в смешанном виде скармливались рыбе. При достижении навески карпа 100 г, пшеницу стали скармливать в неразмолотом виде.

Суточная норма внесения корма в пруд зависела от следующих факторов: поедаемости корма рыбой, температуры воды и средней навески рыб. Ежесуточная норма кормления составила 5-10 % от общей массы рыбы. Кратность кормления – 2 раза в сутки, в 10^{00} и в 17^{00} часов. Расход корма в процентах по месяцам составил: июнь – 10, июль – 41, август – 45. сентябрь – 4. За сезон было израсходовано 14,5 т кормов, кормовой коэффициент составил 2,4 (рис. 10).

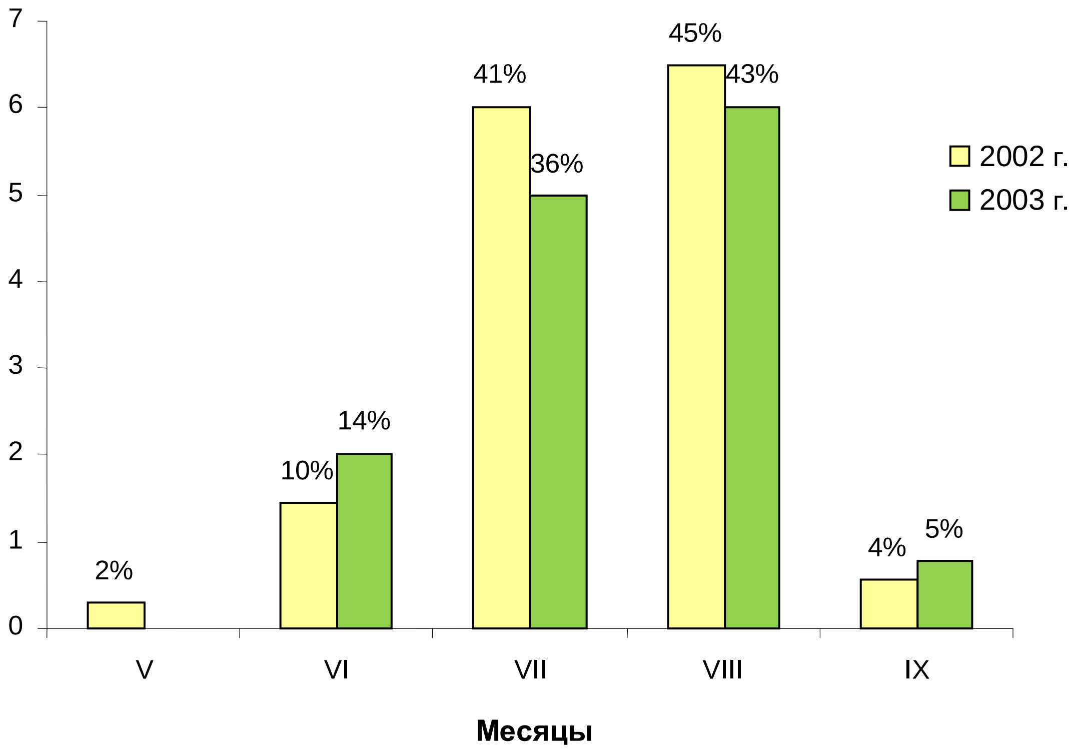


Рисунок 10 – Расход корма (%) на Чирковском пруду в 2002-2003 гг.

Для определения динамики роста рыб проводили контрольные обловы 1-2 раза в месяц, результаты которых приведены в таблице 16. Анализируя данные, следует отметить, что темп роста карпа разных категорий был различным. Наилучший прирост

Таблица 16 – Весовой рост рыбы в Чирковском пруду в 2002 году

Вид рыбы	Месяц и число облова		Вес рыбы в конце периода, г	Число дней между обловами	Прирост		
					За период, г	За сутки, г	Относительный за сутки, %
Карп I категории	май	10	3,6	–	–	–	–
	июнь	30	55	50	51	1,0	1,96
	июль	18	150	18	95	5,3	3,63
	август	5	220	18	70	3,9	1,82
	август	22	250	17	30	1,8	0,73
	сентябрь	15	280	23	30	1,3	0,47
Карп II категории	май	10	62,5	–	–	–	–
	июнь	30	160	50	98	2,0	2,04
	июль	18	310	18	150	8,3	3,34
	август	5	455	18	145	8,0	2,11
	август	22	560	17	105	6,2	1,24
	сентябрь	15	600	23	40	1,7	0,31
Белый толстолобик	май	10	55	–	–	–	–
	июнь	30	157	50	102	2,0	1,96
	июль	30	308	30	151	5,0	1,97
	август	30	458	30	150	5,0	1,24
	сентябрь	15	473	15	15	1,0	0,30
Пёстрый толстолобик	май	10	55	–	–	–	–
	июнь	30	203	50	148	3,0	2,02
	июль	30	450	30	247	8,2	2,07
	август	30	680	30	230	7.6	1,21
	сентябрь	15	713	15	33	2,2	0,33
Белый амур	май	10	22,5	–	–	–	–
	июнь	30	161	50	139	2,8	2,01
	июль	30	345	30	184	6,1	1,88
	август	22	474	22	129	5,8	1,28
	сентябрь	15	500	23	26	1,1	0,23
Бестер	май	10	170	–	–	–	–
	август	22	700	92	530	5,7	1,07
	сентябрь	15	750	24	50	2,0	0,34

был у карпа II категории, самый высокий показатель отмечен в июле – 8,3 г и в августе – 8,0 г за сутки; относительный прирост был наиболее высоким в июле 3,63 %.

К концу вегетационного периода карп I категории достиг средней навески 280±0,8 г; стандартное отклонение составило 6,75±0,5 г; коэффициент вариации 2,42±0,2 %, что говорит о невысокой степени разнообразия по изучаемому признаку. Карп II категории достиг средней навески 600±0,68 г; стандартное отклонение составило 6,65±0,5 г; коэффициент вариации 1,10±0,08 %.

Белый толстолобик отличался стабильностью роста, как в июле, так и в августе – 5,0 г за сутки (табл. 16).

Хороший темп роста толстолобика был обеспечен рядом условий: высокой температурой воды в пруду – 25,4°С в июле и 19 °С в августе, внесением удобрений и хорошим развитием фитопланктона. Белый толстолобик питался фитопланктоном. В содержимом кишечника белого толстолобика были обнаружены остатки следующих видов водорослей: Cyclotella comta, Melosira granulata, Melosira varians, Synedra ulna var. danica, Coelastrum microporum, Fragilaria capucina, Scenedesmus quadricuauda, Actinastrum Hantzschii, Navicula exigua.

К концу вегетационного периода белый толстолобик достиг средней навески 473,8±5,24 г, стандартное отклонение составило 52,4±3,7 г, а коэффициент вариации 11,0±0,8 %.

Пёстрый толстолобик по сравнению с белым толстолобиком развивался более быстрыми темпами. В начале вегетационного периода суточный привес составил 3,0 г. Максимальный привес за сутки у него отмечался в июле 8,2 г, и в августе 7,6 г. К концу сезона (сентябрь) он снизился до 2,2 г.

При вскрытии и анализе содержимого отделов кишечника пёстрого толстолобика обнаружены остатки крупных форм фитопланктона (Pediastrum duplex, Melosira varians и др.), а также большое количество зоопланктона. Это свидетельствует о том, что питание пёстрого толстолобика было интенсивным и разнообразным, недостатка в корме не наблюдалось. К концу периода выращивания пёстрый толстолобик достиг средней навески 794,3±14,9 г, стандартное отклонение составило 125,3±10,6г, коэффициент вариации 15,7±1,3 %.

Белый амур хорошо прибавлял в весе в июне, июле, августе (2,8; 6,1; 5,8 г в сутки соответственно), так как в этот период в пруду было много высшей водной растительности, являющейся основным кормом белого амура. К концу августа было съедено 80 % высшей водной растительности от площади зарастания пруда. Отмечено, что белый амур не перешёл полностью на питание комбикормами и не создал конкуренции в питании карпу, что обычно случается к концу вегетационного периода, когда белый амур подрывает собственную кормовую базу и переходит на питание кормами, предназначенными для карпа.

Вскрытие экземпляров белого амура показало его высокую упитанность в течение всего периода выращивания, имелись жировые прослойки. В составе содержимого кишечника выявлены остатки высшей водной растительности и частично комбикорма.

К концу сезона белый амур достиг средней навески 500,2±5,11 г, стандартное отклонение составило 51,3±3,60 г, коэффициент вариации 10,2±0,7 %.

Бестер по темпу роста показал хорошие результаты. При зарыблении годовики бестера имели навеску 170 г (рис. 11).

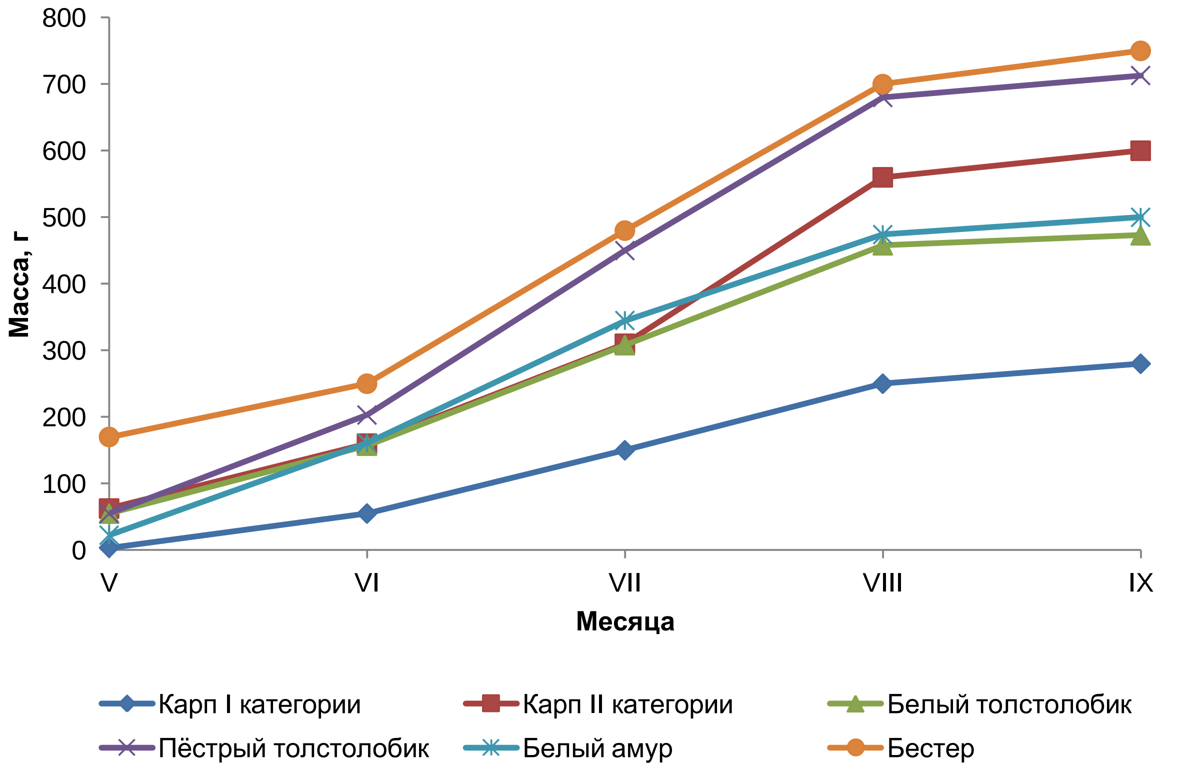


Рисунок 11 – Динамика роста рыбы в Чирковском пруду в 2002 году

Средний суточный привес оставался стабильным в течение всего периода выращивания и находился в пределах 5,7 г (в июне, июле, августе). Процент выхода к концу сезона составил 80. Бестер питался бентосными организмами, а также мелкими сорными видами рыб. При вскрытии кишечника были обнаружены остатки быстрянок.

При облове пруда средняя навеска бестера составила 750±11,9 г (рис. 12), стандартное отклонение составило 31,6±8,40 г, коэффициент вариации 4,2±1,1 %.

Рисунок 12 – Бестер из Чирковского пруда

В конце сентября был произведён облов пруда. Всего было получено 8383 кг рыбы, в том числе: карпа I категории –5600 кг со средней навеской 280 г; карпа II категории – 587 кг со средней навеской 600 г; белого толстолобика – 659 кг со средней навеской 473 г, пёстрого толстолобика 52 кг со средней навеской 713 г, белого амура – 1472 кг со средней навеской 500 г; бестера – 6 кг со средней навеской 750 г.

Рыбопродуктивность пруда составила 466,7 кг/га, в том числе растительноядных 122 кг/га (табл. 15). Но если учесть, что у Чирковского пруда комплексного назначения нагульная площадь составляет 50 %, то рыбопродуктивность составит 932,4 кг/га, в том числе растительноядных – 244 кг/га.

9 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОДУКТИВНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ РЫБОВОДНОГО ПРУДА[1]

9.1 Концептуальная модель экосистемы рыбоводного пруда

Среди пресноводных водоёмов рыбоводные пруды являются наиболее удобными объектами для управления с целью получения высокой конечной продукции и снижения затрат на её производство на основе наиболее полного использования их особенностей.

Интенсивность трансформации вещества и энергии в высокопродуктивной экосистеме рыбоводного пруда, а также простота её трофической структуры позволяют достигнуть высоких продукционных показателей гидробионтов за счёт использования комплекса управляющих факторов (органические и минеральные удобрения, корма).

Для получения адекватной биологическим процессам математической модели водоёма необходимо не только детальное знание его жизни, но и умение выделить основные из них. Поэтому в комплекс модулей экосистемы рыбоводного пруда включены те структурные элементы трофической цепи, которые могут изменить в нежелательном направлении или лимитировать эти процессы.

Микробиологические процессы.

Построение математической модели экосистемы рыбоводного пруда невозможно осуществить без детального знания всех уровней экосистемы – от бактерий до фитопланктона и рыбы. В некоторых работах (Воинов и Комилов, 1986; Svireshev и др., 1984) по математическому моделированию экосистемы, как водохранилищ, так и рыбоводных прудов, недостаточно внимания уделяется бактериям. Чаще всего функция бактериопланктона

---

[1] Сообщение 1. Богданов Н.И., Комилов Ф.С., Юнусов М.К., Эгамов М.С., 1991.
Сообщение 2. Комилов Ф.С., Юнусов М.К., Богданов Н.И., Эгамов М.С., 1992.
Сообщение 3. Юнуси М.К., Комилов Ф.С., Богданов Н.И., Эгамов М.С., 1993.

отождествляется с бактериальными процессами, протекающими в донных отложениях водоёмов. Хотя последние и имеют немаловажное значение, но они далеко не тождественны процессам бактериальной деструкции органического вещества водной толщи.

В нагульных прудах фотосинтез фитопланктона протекает значительно интенсивней, чем деструкция органических веществ за счёт бактериальной деятельности. Несмотря на это, бактериальная продукция в целом уступает лишь продукции фитопланктона, которая в прудовой экосистеме по своей массе занимает первое место (Новожилова и др., 1987). Помимо создаваемой бактериопланктоном биомассы, которая включается в биотическую цепь, огромна роль бактерий в процессах, существенно влияющих на химизм воды и газовый режим.

Так, в результате деструкции органических веществ происходит насыщение воды углекислым газом, а также высвобождение связанных в сложные органические соединения азота, фосфора и других элементов, которые затем вновь вовлекаются в процесс формирования биомассы микроорганизмов. Растворённый в воде углекислый газ, находясь в наиболее удобной форме, в первую очередь используется фитопланктоном в процессе фотосинтеза.

Биогены и газовый режим рыбоводного пруда.

Механизм влияния удобрений на микрофлору, осуществляющую круговорот биогенов в прудах изучен достаточно подробно (Новожилова и др., 1987; Родина, 1953; Руденко, 1986). Известно, что получить высокую конечную продукцию в рыбоводном пруду без внесения биогенных элементов практически невозможно. Их природные количества в воде, настолько незначительны, что они не могут обеспечить бурное развитие микроводорослей. Поэтому для интенсивного развития микробиологических процессов нужно постоянно поддерживать в воде определённые концентрации азота и фосфора.

Газовый режим рыбоводного пруда теснейшим образом связан с биологическими процессами, протекающими в нём. Насыщение воды кислородом идёт главным образом за счёт фотосинтеза, а обогащение углекислым газом – в результате дыхания гидробионтов, среди которых основная роль принадлежит бакте-

риям. Интенсивное развитие фитопланктона способствует высокому содержанию кислорода в воде и не лимитирует его потребителей. Однако высоким темпам фотосинтеза должны соответствовать бактериальные процессы деструкции органических веществ и насыщение водных масс углекислым газом.

Активная реакция воды в рыбоводном пруду чаще всего зависит от интенсивности фотосинтеза, в результате которого используется CO_2, что приводит к сдвигу pH в щелочную сторону. Бактериальные процессы минерализации органических веществ в водной толще и донных отложениях насыщают воду углекислым газом, в результате чего показатель pH сдвигается в кислую сторону. В утренние часы активная реакция воды бывает кислой, а в вечерние – щелочной. Определение pH в рыбоводном пруду в утренние и вечерние часы показало, что разница составляет больше двух единиц, что свидетельствует об интенсивности микробиологических процессах продукции и деструкции органического вещества.

Особенности прудового выращивания рыб в поликультуре. Высокой рыбопродуктивности можно достигнуть путём подбора видового состава рыб, который мог бы максимально использовать кормовую базу пруда. Наиболее полно поставленной задаче отвечает поликультура рыб, включающая наравне с известными видами комплекс растительноядных рыб. Обычно в поликультуре выращиваются карп, белый и пёстрый толстолобики, белый амур, буффало. Принято считать, что это соотношение видов оптимально из-за наиболее полного использования ими естественной кормовой базы. Действительно, белый толстолобик использует фитопланктон, пёстрый – зоопланктон, карп и буффало – бентос, белый амур – макрофиты. Однако, как отмечает В. П. Митрофанов (1981), планктонофаги, изымая продукцию первичного трофического уровня, не могут не влиять на последующие звенья трофической цепи, тем самым, обедняя естественный кормовой рацион сазана. Хотя эти высказывания относятся к естественным водоёмам, но, видимо, они правомерны и для рыбоводных прудов, т. к. рыбопродуктивность пруда теснейшим образом связана с продукцией органического вещества за счёт фотосинтеза фитопланктона, и поэтому во всех случаях

уровень первично-продукционных процессов должен соответствовать плотности посаженных рыб.

Концептуальная модель высокопродуктивной экосистемы рыбоводного пруда. Схема модели, в которой учтены все вышеизложенные доводы биологических основ математического моделирования высокопродуктивной системы рыбоводного пруда, приведена на рисунке 13 (Богданов и др., 1991). Она достаточно проста, хотя в неё вошли все необходимые компоненты, с которыми связано функционирование экосистемы пруда. По сравнению с известными схемами, у нас уделена соответствующая роль деятельности бактерий, тем самым дифференцирована функция детрита.

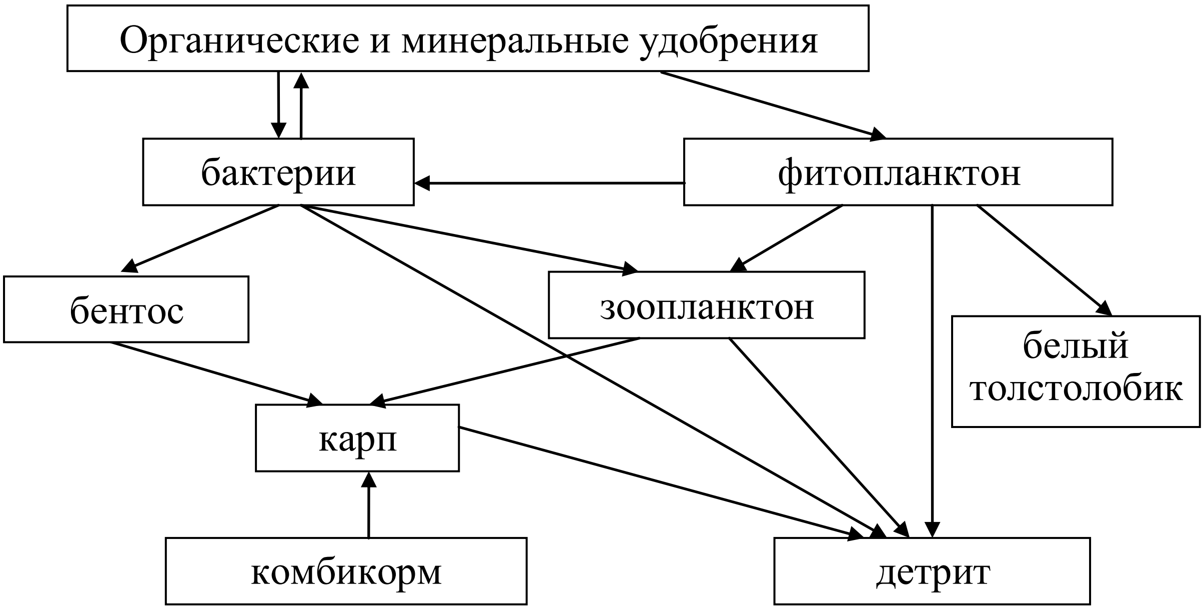


Рисунок 13 – Схематическая модель высокопродуктивной экосистемы рыбоводного пруда

Управление экосистемой и поддержание её на высокопродуктивном уровне достигается за счёт внесения в пруд органических и минеральных удобрений. Критерием для внесения в пруд удобрений является биологическая потребность в них рыбоводного пруда. Причём неупорядоченное использование органо-минеральных удобрений отрицательно сказывается на всей экосистеме и, в конечном счете, приводит к снижению рыбопродуктивности, поэтому периодичность внесения в пруд удобрений устанавливается по плотности сестона.

В схему модели введено только два вида рыб – карп и белый толстолобик, хотя остальные виды рыб (пёстрый толстолобик, белый амур и буффало) в определённой степени также влияют на протекающие в пруду биологические процессы. Но из-за небольшой численности они не могли бы их существенно изменить.

Построенная схема может отвечать условиям высокопродуктивной экосистемы рыбоводного пруда (Комилов и др., 1991).

9.2 Математическое моделирование экосистемы рыбоводного пруда

Круговорот веществ. При построении математической модели любой экосистемы первоочередной задачей является выбор переменных. Это наиболее субъективная и наименее формализованная часть работы, и определяется она следующими факторами: цели и задачи исследования; доступная экспериментальная и теоретическая информация; «обозримость модели».

В нашем случае (Богданов и др., 1990) для оценки рыбохозяйственных возможностей пруда требуется подробное описание как рационов, так и трофических взаимодействий между различными видами рыб и между рыбами и другими компонентами экосистемы. С другой стороны, для описания процессов, происходящих в экосистеме водоема, требуется достаточно полное представление о протекающих в рыбоводном пруду гидробиологических процессах.

В пруду выращивается карп, белый толстолобик и буффало. Последние два вида в модель пока не включены в силу их относительной независимости от других компонентов экосистемы и их незначительной биомассы в общем количестве выращиваемых рыб.

Исходя из кормовой базы карпа – C и толстолобика – T, в модель включены следующие переменные: F – фитопланктон, E – бентос, Z – зоопланктон и B – бактерии.

Для описания круговорота биогенных веществ, способных лимитировать продукционный процесс, в модель включены: P – растворенный минеральный фосфор и N – растворенный минеральный азот.

Циклы биогенных элементов замыкаются детритом – *D*, который, кроме того, иногда входит в рацион толстолобика.

Таким образом, мы получили 9 фазовых переменных для модели. Входными функциями являются климатические факторы: температура воды (*TT*) и интенсивность солнечной радиации на поверхности водоема (I_o). Кроме того, включены 4 управляющие функции, характеризующие внесение искусственного корма (*CO* – комбикорм, *CV* – куколки тутового шелкопряда) и минеральных удобрений (*SV* – суперфосфат, *SE* – аммиачная селитра).

Круговорот веществ в модели экосистемы пруда осуществляется согласно диаграмме потоков, показанной на рис. 14.

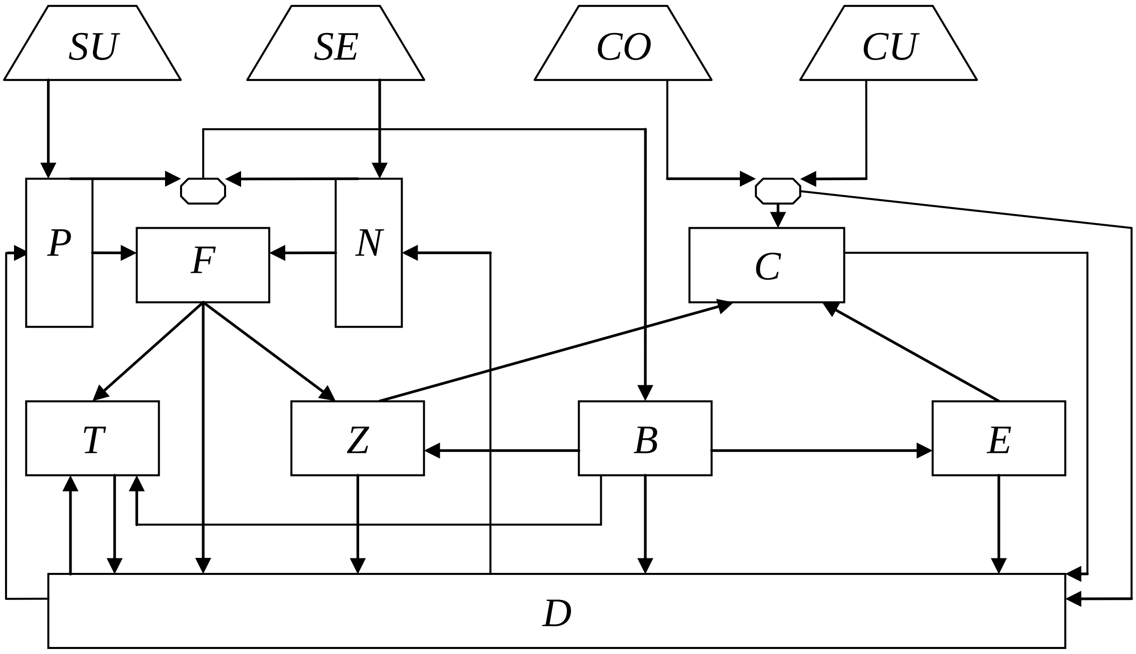


Рисунок 14 – Концептуальная модель высокопродуктивного рыбоводного пруда

Предполагается, что такая схема достаточно полно отражает процессы трансформации веществ в пруду. Поскольку углерод не лимитирует продукционный процесс, но при этом является основной по весу составляющей биомассы, то его потребление мы учитываем косвенно.

Для описания мелководного пруда глубиной порядка 1 м, эффектами пространственного распределения организмов и веществ можно пренебречь, поэтому мы строим точечную модель. Все переменные рассматриваются в виде концентраций (единица

измерения – *г/м*^{3} или *г/м*^{2}). Под концентрацией живых объектов понимается отношение их суммарной живой биомассы к общему объему водоема. Моделируется нагульный пруд в течение 5 месяцев (с 1 мая по 30 сентября).

Описание основных функциональных зависимостей.

Основные процессы трансформации вещества качественно примерно одинаковы для большинства пресноводных экосистем. Поэтому за основу при построении данной модели принимались модели экосистем водохранилищ (Воинов, Комилов, 1985; 1984; 1986), озерных экосистем (Лукьянов, 1979; Jrgensen, 1983) и рыбоводных прудов (Svirezhtv, Krysanova, Voinov, 1984).

Переход вещества с одного трофического уровня на другой описывается S-образными функциями (Воинов, Комилов, 1984). Скорости процессов потребления и роста определяются количеством доступного субстрата и такими физическими условиями среды, как температура и освещенность. Предполагается, что лимитирование светом и температурой можно задать мультипликативными членами в общей функции потока вещества:

$$Q_{ij} = Q\ (t, i, j, TT, I) = f_j\ (TT) \cdot g_j \cdot \Phi_{(i,\,j)} \cdot (1 - M\ B_j),$$

где Q_{ij} – функция, определяющая поток вещества из i-й в j-й переменную (например, из F в Z), t – время, $f_j\,(TT)$ – функция, описывающая лимитирование j-го организма температурой ($j = F, Z, B, E, T$ или C), $g_j\,(I)$ – функция, описывающая лимитирование j-го организма светом ($j = F$), TT – температура воды, I – интенсивность солнечной радиации $[0 \le f\ (TT), g\ (I) \le 1]$, $\Phi_{(i,\,j)}$ – функция, определяющая выедания i-го субстрата j-м организмом (например, биогенов продуцентами или продуцентов консументами и т. д.), $M\ B_j$ – коэффициент, определяющий потери j-го организма на метаболизм. Для некоторых случаев $\Phi_{(i,\ j)} = r_{(i,\ j)}$, где $r_{(i,\,j)}$ – s-образная функция.

Зависимость роста организмов от температуры воды описывается модифицированной функцией Лемана, а лимитирование роста фитопланктона светом – функцией Стила (Svirezhev, Krysanova, Voinov, 1984). Потребление биогенных элементов – углерода, азота и фосфора – в экосистеме синхронизировано в

соответствии с законами стехиометрии и принципом лимитирующих факторов.

Например, потребление фосфора фитопланктоном будет определяться функцией

$$Ф\ (P, F) = \min\ [(1/FP) \cdot r\ (P, F), 1/FP \cdot r\ (P, F)] \qquad (1)$$

Тогда потребление азота будет пропорционально

$$Ф\ (\mathrm{N, F}) = \mathrm{FN} \cdot Ф\ (\mathrm{P, F}).$$

Таким образом, для синхронизации потоков азота и фосфора используется следующая процедура:

1. Вычисление потенциально возможных потоков биогенных веществ по s-образным формулам $r_{(i, j)}$.
2. Определение лимитирующего биогенного вещества по формуле *(1)*.
3. Пересчет потоков. Потребление нелимитирующего биогена происходит со скоростью, определяемой потреблением лимитирующего биогена.

Учитывая вышеизложенное, можно сказать, что потребление углерода будет пропорционально

$$Ф\ (CC, F) = FC \cdot Ф\ (P, F),$$

где FP, FN, FC – стехиометрические коэффициенты фосфора, азота и углерода для фитопланктона соответственно. Соответствующая доля FC углерода выпадает при разложении детрита. По разным литературным источникам, FP =1, FN равно от 5 до 16, а FC берется около 100.

Итак, в соответствии с принципом лимитирующих факторов потребление биогенных элементов фитопланктоном определяется формулой:

$$Ф\ (i, F) = Ф\ (P, F) + Ф\ (N, F) + Ф\ (CC, F) = Ф\ (P, F) +$$
$$+ FN \cdot Ф\ (P, F) = (1+FN + FC) \cdot Ф\ (P, F).$$

Потребление биогенных элементов бактериями непосредственно из воды описывается аналогично, но с другими стехиометрическими коэффициентами (BP, BN и BC).

Процессы бактериальной деструкции аппроксимируются уравнениями химической кинетики 1-го порядка, причем предполагается, что детрит вновь распадается на азот и фосфорсодер-

жащие питательные вещества в соответствии с их стехиометрическим содержанием. Здесь уместны аналогии с теорией ферментативных реакций. Некий «субстрат» – детрит переходит в «продукт» – биогенные вещества под действием своего рода «фермента» – бактерий. Часть продукта при этом используется бактериями для поддержания собственной жизнедеятельности. В итоге протекание процесса бактериального разложения будет описываться формулой:

$$r\,(D,\,B) = \mu_{DB} \cdot D^S \cdot B/(K^S{}_{DB} + D^S),$$

где μ_{DB} – максимальная скорость разложения детрита бактериями (1/сутки), K_{DB} – соответствующая константа полунасыщения (*г/м*^{2}).

В данном случае s (s=2) можно интерпретировать как количество молекул, «обрабатываемых» одной молекулой фермента (одним микроорганизмом) одновременно.

На скорости процессов деструкции существенно влияет температура. Поскольку процессы ингибируются температурами, практически недостижимыми в условиях естественных водоемов (+50, +60°С), для описания температурной зависимости в этом случае используется формула Вант-Гоффа (Воинов, Комилов, 1984).

Таким образом, разложение детрита фосфора определяется формулой:

$$Q_{DP} = f_D(TT) \cdot DES \cdot \frac{KP}{KP+KN+KC+KS} \cdot r\,(D,\,B),$$

где $f_D\,(TT)$ – температурная функция для процесса разложения, DES – коэффициент деструкции ($0 < DES < 1$), KP, KN, KC – стехиометрические коэффициенты для фосфора, азота и углерода соответственно, KS – доля детрита, выходящего из круговорота в виде трудноразлагаемых фракций и захороняемого в седиментах: $Q_{DS} = KS \cdot Q_{DP}$

Разложение детрита до азота и углерода соответственно будет:

$$Q_{DN} = KN \cdot Q_{DP}, \qquad Q_{DCC} = KC \cdot Q_{DP}.$$

Теперь остановимся более подробно на питании рыб. Из литературных данных следует, что некоторым рыбам свойственна

элективность питания, т. е. питание с переключением. Так, например, толстолобик предпочитает использовать в качестве корма фитопланктон. Но когда фитопланктона мало, или не подходит видовой состав, он переходит на питание заменяющим кормом – бактериопланктоном. Если и этой пищи становится недостаточно, то он может переходить на вынужденный корм, т. е. детрит. Для описания питания с переключением используем практику моделирования по водохранилищу (Воинов, Комилов, 1986) и рыбоводным прудам (Svirezhev, Krysanova, Voinov, 1984), где были «использованы выводы, сделанные В. С. Теном, который проанализировал опытные данные В. С. Ивлева в зависимости питания от концентрации кормовых объектов на примере питания карпа. Интерпретация опытных данных затруднена тем, что при модельном исследовании принято оперировать такими понятиями, которые не позволяют усматривать сущность процесса. Выбор их в значительной мере произволен. А экспериментатор ограничен лишь эмпирически доступными величинами» (Svirezhev, Krysanova, Voinov, 1984).

Пусть имеющиеся корма – q_i (i = 1,2,3…) упорядочены по предпочтению q_1, q_2, q_3 …, причем q_1 – концентрация излюбленного корма. Тену удалось найти зависимость вероятности потребления объекта i-го типа η_i от суммарной концентрации объектов питания

$$q = \sum_{i=1}^{n} q_i$$

Тогда вероятность η_1 при любом наборе q_1, q_2, …, q_n, а вероятность перехода на менее предпочтительный корм η_i, есть функция концентрации q_i – 1, т. е. $\eta_i = (q_i - 1)$, i = 2, 3, 4,…

Кривые $\eta i\ (q)$, i = 2, 3, … имеют перевернутый s-образный вид (рис. 2), причем $\eta j < \eta i$ при $j > i$ и $\lim_{q\to 0} \eta_i(q) = 1$, $\lim_{q\to\infty} \eta_i(q) = 0$.

Это означает, что переходный режим не четко выражен, а охватывает полосу значений q, хотя зависимость η_i от q при больших q кажется сомнительной. Видимо, ближе к реальности зависимость

$$\eta_2\,(q_1),\ \eta_3\,(q_1, q_2),\ \eta_4\,(q_1, q_2, q_3)\ \text{и т. д.}$$

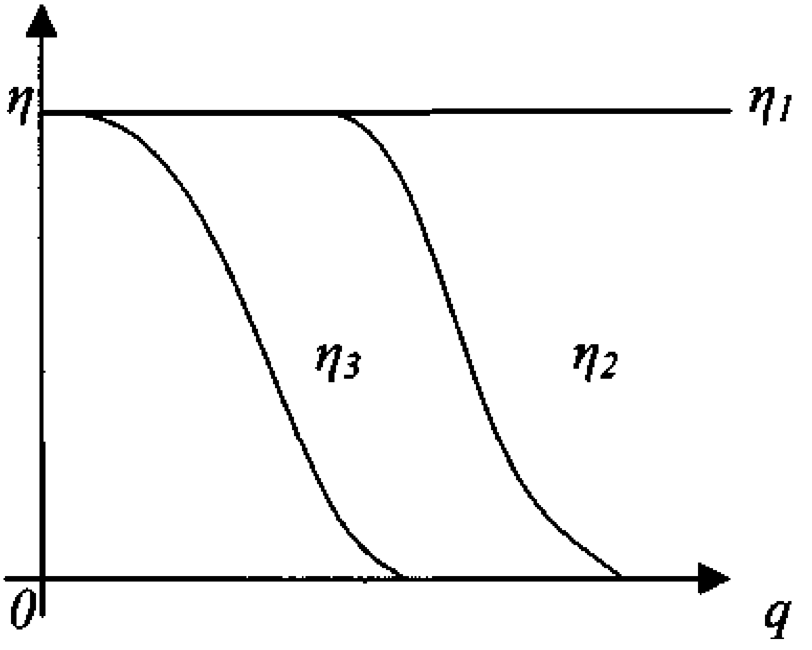


Рисунок 15 – Питание с переключением

Так, например, для описания переключения с питания излюбленным кормом – фитопланктоном – на питание бактериями в модели используется функция

$$\eta(F) = \frac{exp(-\lambda_F \cdot (F - m_F))}{1 + exp(-\lambda_F \cdot (F - m_F))},$$

где λ_F – параметр, характеризующий крутизну кривой, m_F – коэффициент полуобеспеченности фитопланктоном, т. е. значение F, при котором $\eta(F) = 0{,}5$.

Тогда потребление бактерий толстолобиком в случае недостатка фитопланктона запишется в виде

$$Q_{BT} = f_T(TT) \cdot \min\,[(r\,(F_{cr}, T) - r\,(F, T)],\, r\,(B, T) \cdot \eta\,(F)] \cdot (1 - MB_T),$$

где F_{cr} – критическое значение фитопланктона, при котором толстолобик переходит на питание бактериями. Разность двух трофических функций под знаком минимума обеспечивает ограничение скорости роста рыб так, чтобы она была выше той, которая достигнута на излюбленном корме (при $F = F_{cr}$). При нехватке бактерий толстолобик переходит на питание детритом и т. д. В этом случае переключение – двухступенчатое, трехступенчатое и т. д.

Потребление толстолобиком фитопланктона представляется в виде

$$Q_{FT} = f_T(TT) \cdot r\,(F, T) \cdot (1 - MB_T).$$

Остались неописанными еще два процесса: метаболизм и смертность живых организмов экосистемы. Выделение живыми объектами водоема продуктов метаболизма можно в первом приближении считать пропорциональным суммарному потреблению кормовых объектов. Выделение продуктов метаболизма и переход их в детрит в модели представлен следующим образом (на примере толстолобика):

$$S_1\,(T, D) = (Q_{FT} + Q_{BT} + Q_{DT}) \cdot MB_T / (1 - MB_T),$$

где MB_T – коэффициент метаболизма толстолобика, Q_{FT}, Q_{BT}, Q_{DT} – потоки, описывающие потребление толстолобиком фитопланктона, бактерий и детрита соответственно.

Кроме того, для рыб учитывается зависимость усвоения пищи от величины рациона. Так, например, при обильном питании толстолобика пища заглатывается непрерывно и проходит через кишечник с такой быстротой, что лишь 30-40 % ее усваивается, тогда как при умеренном питании усваивается в 2 раза больше (Svirezhev, Krysanova, Voinov, 1984).

Таким образом,

$$S_2\,(T, D) = RT^2 \cdot MBB_T / RT_{max},$$

где $RT = Q_{FT} + Q_{BT} + Q_{DT}$, RT_{max} – максимальный рацион для толстолобика, MBB_T – суммарный метаболический параметр для толстолобика.

Смертность живых организмов, как известно из литературных источников (Воинов, Комилов, 1986; Svirezhev, Krysanova, Voinov, 1984) зависит от наличия растворенного кислорода в воде. В нашей модели предполагается, что наличие кислорода в воде не лимитирует процессов жизнедеятельности и находится на уровне насыщенности. Поэтому смертность организмов и их переход в детрит задается линейной функцией биомассы или концентрации живых объектов. Естественная смертность рыб в условиях оптимального режима в нагульном пруду должна отсутствовать. Но в связи с вероятностью паразитологических и прочих инфекционных заболеваний рыбных популяций пруда, а также

других внешних воздействий, в модели учтена смертность рыб. Итак, смертность организмов описывается следующим образом:

$$S\,(i,\,D) = CMORi \cdot i,$$

где *CMORi* – коэффициент смертности *i*-х организмов, *i* = *F, Z, B, E, T* или *C*. Образующийся при этом детрит состоит из углерода, азота и фосфора, причем лишь азот и фосфор детрита включены в число переменных модели. Например, Q_{TD} поток характеризуется так:

$$Q_{TD} = S_1\,(T,\,D) + S_2\,(T,\,D) + S\,(T,\,D)$$

Таким образом, нами представлены основные потоки вещества, необходимые для описания экосистемы рыбоводного пруда. На основе диаграммы потоков вещества (рис. 15) и с учетом вышесказанных соображений теперь можно написать уравнение модели. Полностью все потоковые уравнения модели представлены в табл. 17. В табл. 18 приведены формулы для всех потоков и функциональных зависимостей, использованных в математической модели пруда.

Таблица 17 – Потоковые дифференциальные уравнения модели

$$dP/dt = Q_{DP} - Q_{PF} - Q_{PB} + SU\,(t)$$
$$dN/dt = Q_{DN} - Q_{NF} - Q_{NB} + SE\,(t)$$
$$dF/dt = Q_{PF} + Q_{NF} + Q_{CCF} - Q_{FT} - Q_{ZD} - Q_{FD}$$
$$dZ/dt = Q_{FZ} + Q_{BZ} - Q_{ZC} - Q_{ZD}$$
$$dB/dt = Q_{PB} + Q_{NB} + Q_{CCB} - Q_{BZ} - Q_{BE} - Q_{BT} - Q_{BD}$$
$$dE/dt = Q_{BE} - Q_{EC} - Q_{ED}$$
$$dT/dt = Q_{FT} + Q_{BT} + Q_{DT} - Q_{TD}$$
$$dC/dt = Q_{EC} + Q_{ZC} - Q_{CD} + [\alpha \cdot CO\,(t) + \beta \cdot CU\,(t)] \cdot C$$
$$dD/dt = Q_{FD} + Q_{ZD} + Q_{BD} + Q_{ED} + Q_{TD} + Q_{CD} - Q_{DT} - Q_{DP} - Q_{DN} -$$
$$- Q_{DCC} - Q_{DS} + (1 - \alpha) \times CO\,(t) + (1 - \beta) \cdot CU\,(t).$$

Здесь *α, β* – доля комбикорма и куколки, идущие на потребление карпа, соответственно.

Таблица 18 – Основные потоки вещества и функциональные зависимости

$Q_{DP} = f_D\,(TT) \cdot DES \cdot KP \cdot r\,(D, B)\,/\,(KP + KN + KC + KS)$
$Q_{DN} = KN \cdot Q_{DP}, \quad Q_{DCC} = KC \cdot Q_{DP}, \quad Q_{DS} = KS \cdot Q_{DP}$
$Q_D = f\,(TT) \cdot gF\,(I) \cdot \Phi\,(P, F) \cdot (1 - MB_F)$
$Q_{NF} = FN \cdot Q_{PF}, \quad Q_{CCF} = FC \cdot Q_{PF}$
$Q_{PB} = f_B\,(TT) \cdot \Phi\,(P, B) \cdot (1 - MB_B)$
$Q_{NB} = BN \cdot Q_{PB}, \quad Q_{CCB} = BC \cdot Q_{PB}$
$Q_{FT} = f_T\,(TT) \cdot r\,(F, T) \cdot (1 - MB_T)$
$Q_{EC} = f_C\,(TT) \cdot r\,(E, C) \cdot (1 - MB_C)$
$Q_{BT} = f_T\,(TT) \cdot \min\,\{Y1, Y2\} \cdot (1 - MB_T)$
$Y1 = r\,(Fcr, T) - r\,(F, T), \quad Y2 = r\,(B, T) \cdot \eta(F)$
$Q_{ZC} = f_C\,(TT) \cdot \min\,\{Y3, Y4\} \cdot (1 - MB_C)$
$Y3 = r\,(B, C) - r\,(E, C), \quad Y4 = r\,(Z, C) \cdot \eta(E)$
$Q_{DT} = f_T\,(TT) \cdot \min\,[\min\,(Y1, Y5) - \min\,(Y1, Y2)],\ Y\,6 \cdot (1 - M)$
$Y5 = r\,(B\,cr, T) \cdot \eta\,(F), \quad Y6 = r\,(D, T) \cdot \eta\,(F) \cdot \eta\,(B)$
$Q_{FZ} = f_Z\,(TT) \cdot r\,(F, Z) \cdot (1 - MB_Z)$
$Q_{BZ} = f_Z\,(TT) \cdot r\,(B, Z) \cdot (1 - MB_Z)$
$Q_{BE} = f_E\,(TT) \cdot r\,(B, E) \cdot (1 - MB_E)$
$Q_{FD} = MB_F \cdot (Q_{PF} + Q_{NF} + Q_{CCF})\,/\,(1 - MB_F) + CMOR_F \cdot F$
$Q_{ZD} = MB_Z \cdot (Q_{FZ} + Q_{BZ})\,/\,(1 - MB_Z) + CMOR_Z \cdot Z$
$Q_{BD} = MB_B \cdot (Q_{PB} + Q_{NB} + Q_{CCB})\,/\,(1 - MB_B) + CMOR_B \cdot B$
$Q_{ED} = MB_E \cdot Q_{BE}\,/\,(1 - MB_E) + CMOR_E \cdot E$
$Q_{TD} = (MB_T + MBB_T \cdot RT\,/\,RT_{\max}) \cdot RT\,/\,(1 - MB_T) + CMOR_T \cdot T$
$Q_{CD} = (MB_C + MBB_C \cdot RC\,/\,RC_{\max}) \cdot RC\,/\,(1 - MB_C) + CMOR_C \cdot C$
$RT = Q_{FT} + Q_{BT} + Q_{DT}, \quad RC = Q_{EC} + Q_{ZC}$

9.3 Качественная устойчивость биосистемы рыбоводного пруда

Проблема устойчивости биологических популяций региональных экосистем является одной из основных задач при их проектировании и эксплуатации. Прикладной аспект этой проблемы связан с оценкой максимальных нагрузок на экосистему, превышение которых приводит к разрушению биоценотических взаимоотношений гидробионтов, в результате чего снижается или полностью утрачивается хозяйственно-полезная значимость рыбоводных прудов.

Наиболее актуально проблема устойчивости выступает при эксплуатации рыбоводных прудов в высокопродуктивном режиме, когда взаимоотношения между гидробионтами достигают наивысшего напряжения. При этом крайне важно учитывать, что пищевые взаимоотношения гидробионтов в экосистеме являются многозвенными и представлены большим разнообразием видов на различных ее уровнях. Качественная устойчивость экосистемы может определяться пластичностью пищевых взаимоотношений гидробионтов, которая в экстремальных условиях достигается путем переключения с одних пищевых объектов на другие. Она также поддерживается многообразием видов, которые чаще всего адекватно реагируют на изменения, протекающие в окружающей среде. Однако предел качественной устойчивости не является безграничным, и при его превышении наблюдается разрушение как отдельных блоков (например, микробиологического, зоопланктонного и т. д.), так и в целом всей системы рыбоводного пруда.

Целью данного исследования является анализ моделей экосистемы на примере рыбоводных прудов на качественную устойчивость, создании общей методики проектирования и построения искусственных устойчивых высокопродуктивных биосистем, планирование мероприятий по оптимальной эксплуатации рыбоводных прудов с целью получения максимального урожая.

Критерий качественной устойчивости. Понятие качественной устойчивости, введенное в литературу по математической экологии американским ученым Р. Мээм, означает сохранение устойчивости при любых качественных вариациях связей между элементами системы (видами сообщества), сохраняющими неизменным лишь тип отношений между каждой парой элементов. Иными словами, качественная устойчивость – это свойство, определяемое только качественной структурой взаимодействий в системе и не зависящее от их количественного выражения. Привлекательность подобной концепции состоит в следующем: если количественная оценка коэффициентов модели динамики популяций и сообществ всегда представляет собой трудную проблему, то о характере взаимоотношений между каждой парой видов в сообществе мы всегда сможем судить с достаточной определенностью. Оказывается, на основе только лишь такой информации

– сведения о знаках взаимодействия между каждой парой видов – бывает возможным сделать вывод об устойчивости целого класса моделей, воспроизводящих динамику сообщества с заданной структурой. Формализация понятия качественной устойчивости опирается на ляпуновскую устойчивость нетривиального равновесия системы модельных уравнений, и она сводится при этом к так называемой знак-устойчивости матрицы линеаризованной системы с учетом возрастного состава и пространственных распределений, т. к. способности такой матрицы взаимодействий межу видами экосистемы сохранять устойчивость (отрицательность вещественной части спектра) при сохранении структуры расположения в матрице плюсов, минусов и нулей. Пусть общая матрица сообщества определяется следующим образом (1):

$$A = \int_0^\infty e^{-\delta a}\, dB(\tau), \qquad A = (a_{ij}),\ i, \qquad j = 1, n$$

Здесь a_{ij} – влияние j-го вида на i-й вид. Предполагается, что в сообществе имеется n биологических видов. Любые количественные вариации связей между видами сообщества и внутри самих видов, естественно, приводит и к вариациям элементов матрицы A, поэтому в качественно-устойчивом сообществе устойчивость должна сохраняться при любых количественных значениях элементов a_{ij},, сохраняющих знаковую структуру.

Критерий качественной устойчивости, введенный в экологические задачи Р. Мэем (May R. M., 1973; May R. M., 1973 а), К. Джеффрисом (Jeffries C., 1974) и Д. Логофетом (Логофет, 1986) должны отвечать выполнению следующих условий:

1. $a_{ij} \leqslant 0$ для всех i, причем $a_{кк} < 0$ для некоторого K. Это условие означает, что в качественно-устойчивом сообществе не может быть самовозрастающих видов и хотя бы один вид обладает самолимитированием.

2. $a_{ij} \cdot a_{ij} \leqslant 0$ для любых $i \neq j$. Это условие говорит о том, что в сообществе не должно быть отношений конкуренции (- -) и мутуализма (+ +).

3. Для всякого набора из трех или более различных индексов $i_1, i_2, \ldots, i_m$ произведение

$$a_{i1\,j2} \cdot a_{i\,2\,j3} \cdot \ldots \cdot a_{i\,m\,j1} = 0,$$

т. е. в структуре сообщества не должно быть замкнутых ориентированных циклов длиною более 2: в частности, исключается ситуация «всеядия» (хищник питается двумя видами жертв, один из которых служит в то же время пищей и другому).

4. $det\ A \neq 0$. Это условие означает, что соответствующий знаково-ориентированный граф (ЗОГ) содержит ориентированные циклы, суммарное число вершин которых равно количеству видов экосистемы.

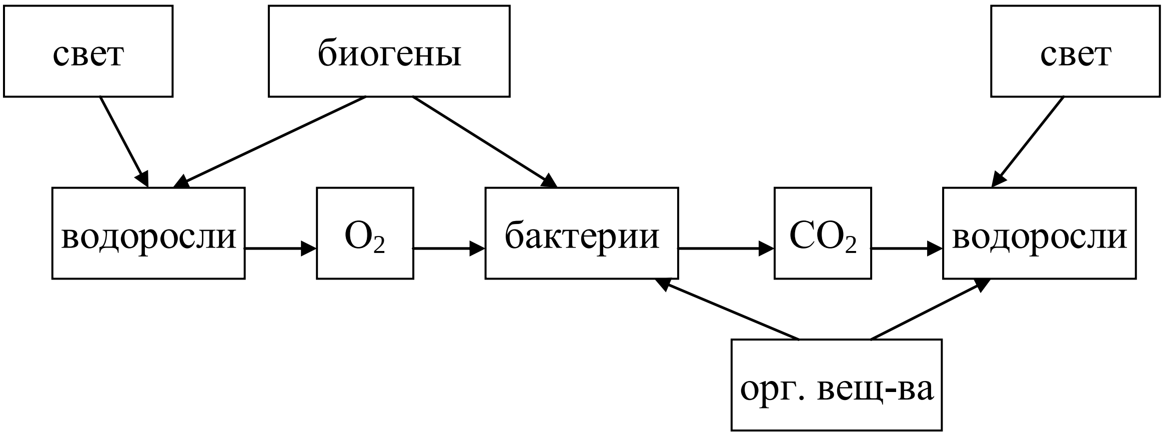
5. Граф хищничества нарушает цветовой тест: а) все вершины (соответствующие виды) с самолимитированием – черные; б) существуют белые вершины (виды без самолимитирования), причем каждая белая вершина связана, по крайней мере, с другой белой вершиной; в) каждая черная вершина, связанная с белой, связана и хотя бы с одной другой белой вершиной.

К условиям 1) - 5) для экосистем с учетом возрастной деструкции и возрастно-пространственного распределения добавляем условие (1): $h<1$, где h является биологическим потенциалом экосистемы $h = \| B \|$, $B = B\ (a)$ матрица выживаемости.

В силу того, что спектр исходной матрицы представляет собой объединение спектров каждого диагонального блока матрицы сообщества, и, следовательно, для знак-устойчивости матрицы сообщества A необходимо и достаточно знак-устойчивости всех ее подструктур хищничества. Справедливо утверждение, что для знак-устойчивости матрицы сообщества необходимо и достаточно выполнение условий 1) - 5). Следует отметить, что класс качественно устойчивых сообществ оказывается довольно узким. Однако отсутствие знак-устойчивости еще не означает, что система вообще не может быть устойчивой. Знак-устойчивости требует максимально возможной области устойчивости и свидетельствует о большой уязвимости стабильного динамического поведения системы при вариациях внутри межвидовых связей. Таким образом, критерий знак-устойчивости дает удобный инструмент предварительного анализа трофических структур в экосистеме с точки зрения устойчивости соответствующей динамической модели. Эти критерии свидетельствуют о возможности наличия и специального расположения в структуре сообщества видов, которые обладают саморегулированием по численности. В отдельных

случаях критерий может указать также на те связи, наличие или отсутствие которых имеет принципиальное значение для устойчивости всей системы.

Структура межпопуляционных отношений в гидробиоценозах рыбоводного пруда. Основные биоблоки и взаимоотношения между гидробионтами в процессе выращивания рыбы в прудах приведены в сообщениях 1 и 2 (Богданов и др., 1991; Комилов и др., 1992). Как было показано, самым масштабным в круговороте веществ являются микробиологические процессы, на основе которых базируется вся дальнейшая жизнь рыбоводного пруда. Микробиологические процессы заключают в себе деятельность бактерий и фитопланктона, фактически двух самостоятельных блоков. Однако между ними прослеживается как тесная взаимосвязь (схема), так и антагонистические взаимоотношения, когда интенсивная вегетация водорослей угнетает развитие бактерий.



Во всех случаях преимущественное развитие фитопланктона приводит к устойчивому состоянию всей экосистемы, тогда как преобладание бактериальных процессов чаще всего завершается ее разрушением.

Биомасса микроорганизмов, которая продуцируется в рыбоводном пруду, наиболее интенсивно изымается зоопланктоном и рыбами (белый толстолобик). Поэтому во многом устойчивость экосистемы определяется уровнем первичной продукции, которая должна соответствовать потребностям двух последующих блоков – зоопланктонного и рыб-фитофагов. Несоответствие между продуцентами и консументами названных блоков приводит или к

снижению конечной продукции, или недоиспользованию биоресурсов, что снижает хозяйственную ценность рыбоводных прудов. Следовательно, устойчивость биологических популяций в экосистеме высокой продуктивности необходимо рассматривать, прежде всего, как рациональное взаимоотношение гидробионтов при использовании пищевых ресурсов. Так, например, получение высокой рыбопродуктивности достигается путем подбора поликультуры рыб, максимально использующих кормовую базу рыбоводного пруда и вносимые в него корма.

Вопросы качественной устойчивости структур биосистем пруда. Напомним, что понятие качественной устойчивости сводится к знак-устойчивости матрицы взаимодействия на основе ляпуновской нормы нетривиального равновесия модели, что класс качественно-устойчивых сообществ оказывается довольно узким. В частности, в него заведомо не могут входить модели, в которых учитываются замкнутые круговороты биогенных элементов, бактерий, детрита. Перечисленные виды очень часто встречаются при моделировании всех реальных экосистем. В этот класс также не входят сообщества, в которых хищник питается более чем на одном трофическом уровне (в графе возникают циклы длины больше, чем два).

Однако, как отметили выше, отсутствие знак-устойчивости еще не означает, что система вообще не может быть устойчивой, просто качественная устойчивость требует максимально возможной области устойчивости в пространстве параметров. Нарушение же качественной устойчивости свидетельствует о большой уязвимости стабильного динамического поведения системы при вариации внутри и межвидовых связей.

Так, например, представленный ниже анализ структур различной степени агрегирования полученной из полной схемы биологических взаимодействий в рыбоводных прудах (Комилов и др., 1992) позволяет объяснить с позиции популяционной теории ряд эмпирически установленных эффектов, в частности, стабилизирующий эффект конкуренции среди рыб (карп) из-за нехватки корма, и дестабилизирующий эффект бактерий + детрит, а также, когда карп питается зоопланктоном. Эти эффекты особенно важно учитывать при проектировании рыбоводных прудов.

Если анализировать максимально агрегированную структуру – фитопланктон, зоопланктон, карп, толстолобик – на качественную устойчивость, то мы приходим к четырехкомпонентной системе. Соответствующий ЗОГ изображен на рис. 1. Видно, что этот ЗОГ удовлетворяет всем условиям 1) - 5) качественной устойчивости: знак взаимодействия + -, циклы длиннее двух отсутствуют, ЗОГ нарушает «цветовой тест» и определитель матрицы взаимодействия

$$\det A = de \begin{bmatrix} 0 & -a_{12} & 0 & -a_{14} \\ a_{21} & 0 & -a_{23} & 0 \\ 0 & a_{32} & -a_{33} & 0 \\ a_{41} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = a_{14} \cdot a_{41} \cdot a_{32} \cdot a_{23} > 0$$

Рассмотрим более сложную структуру, но по-прежнему агрегированную систему, состоящую из пяти компонентов: фитопланктон, зоопланктон, карп, толстолобик и бентос (рис. 16).

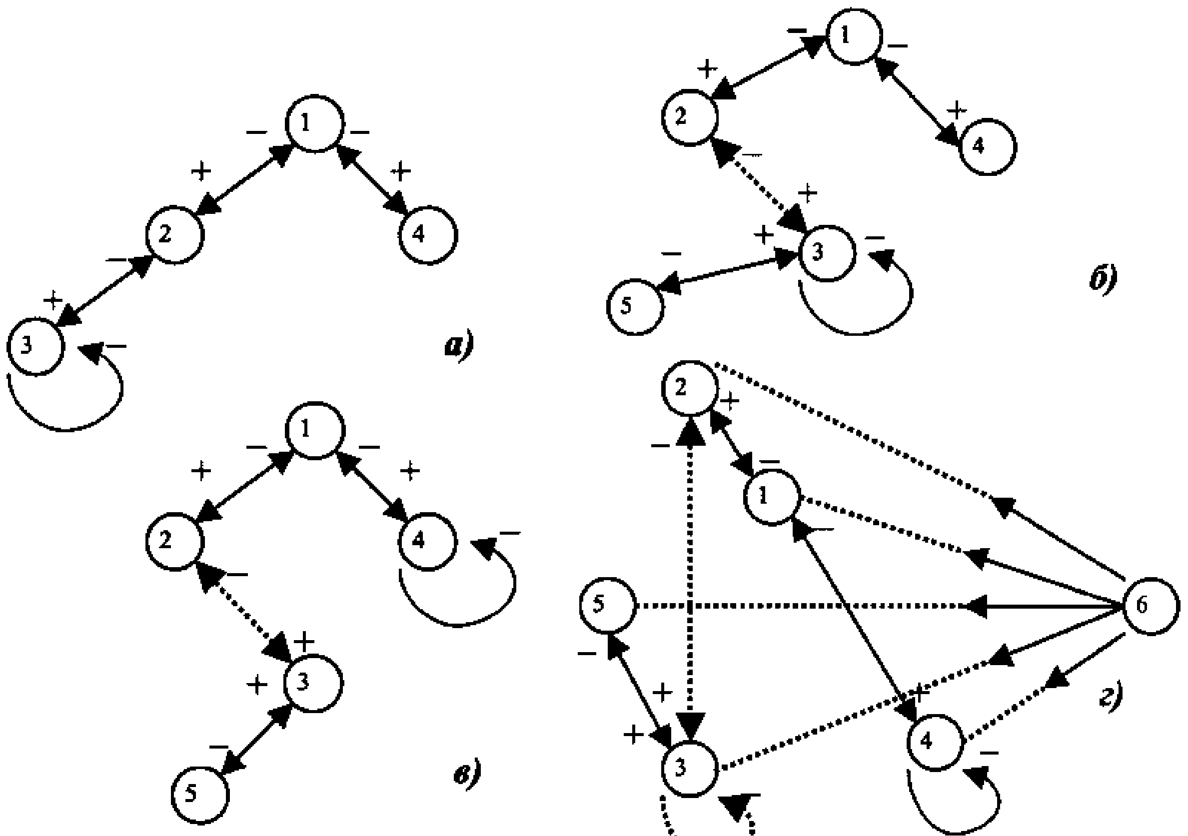


Рисунок 16 – Знаковый ориентированный граф (ЗОГ)

а) ЗОГ максимально агрегированной структуры рыбоводного пруда: фитопланктон – 1, зоопланктон – 2, карп – 3, толстолобик – 4;

б) Учет «всеядности» и самолимитирования карпа – 3 (питается зоопланктоном – 2 и бентосом – 5);

в) Построение качественно-устойчивой структуры при учете «всеядности» карпа;

г) ЗОГ, отражающий влияние бактерий + детрит – 6 на остальные виды.

Здесь штриховая стрелка 2-3 соответствует случаю, когда карп помимо бентоса питается и зоопланктоном. Такая биологическая структура является качественно-неустойчивой. Но из нее можно получить качественно-устойчивую структуру. Для этого необходимо добавить минеральные и органические удобрения так, чтобы нехватка пищи для карпа привела к появлению эффекта самолимитирования. ЗОГ такого устойчивого сообщества приведен на рис. 16 ***(в)***.

Заметим, что в рассмотренных структурах взаимодействий пока не учитывалось действие бактерий на остальные виды. На рис. 16 ***(г)*** связи от бактерий + детрит – 6 к остальным видам отмечены штриховыми стрелками. ЗОГ, отражающий это воздействие, не является качественно-устойчивым, поскольку содержит циклы длиннее двух. Таким образом, с точки зрения качественной устойчивости, бактерии + детрит оказывают дестабилизирующие эффекты.

Из рассмотренных примеров следуют определенные выводы методологического характера, которые могли бы иметь значение при проектировании рыбоводных прудов, интродукции новых видов, удобрении, внесении кормов, т. к. эти мероприятия существенно влияют на структуру биологических взаимодействий в сообществе. Чтобы не появился эффект самолимитирования популяции карпа, необходимо организовать функционирование рыбоводного пруда таким образом, чтобы этот эффект (если это необходимо) появился у толстолобика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рыбохозяйственное освоение водоемов области и применение методов интенсификации для прудовых хозяйств является основой повышения рыбопроизводства и обеспечения населения важнейшим продуктом питания.

Впервые для Пензенской области в рыбохозяйственный оборот введены новые районированные породы карпа, растительноядные рыбы – белый толстолобик, пестрый толстолобик, белый амур и из чукучановых – малоротый буффало, представители осетровых – бестер и сиговых – пелядь.

Проведены работы по получению рыбопосадочного материала, а также по выращиванию товарного карпа в различных вариантах, в том числе в поликультуре с растительноядными рыбами с использованием методов интенсификации. Выращивание рыбы проводилось в специализированных рыбоводных хозяйствах и прудах комплексного назначения.

Выращивание прудовых рыб в поликультуре: карповых (карп, белый толстолобик, белый амур) и осетровых (бестер) и использование интенсивной технологии позволило повысить естественную кормовую базу пруда и соответственно его рыбопродуктивность.

Выращивание прудовых рыб в поликультуре дает возможность полнее использовать естественную кормовую базу пруда. В результате дополнительная рыбопродукция по растительноядным рыбам составила от 20 до 26 % от общего вылова.

Для водоемов комплексного назначения Пензенской области пелядь и бестера можно рекомендовать как добавочные объекты для выращивания в поликультуре с карповыми видами рыб.

Выращивание товарного карпа с использованием интенсификации пруда в поликультуре с растительноядными рыбами и дополнительной посадкой личинок в условиях Средневолжского региона, позволяет получить достаточно высокую рыбопродукцию за счет наиболее полного использования кормовой базы рыбоводного пруда комплексного назначения.

Для области актуальны вопросы зарастания прудов высшей водной растительностью и «цветение» синезелеными водоросля-

ми. Известно, что белого амура можно использовать как активного мелиоратора рыбоводных прудов, а белый толстолобик использует микроскопические водоросли, в том числе и некоторые виды синезеленых водорослей. Однако серьезным лимитирующим фактором могут выступать термические условия рыбоводных прудов. Поэтому в годы, когда бывает прохладное лето, ни в одном из рыбхозов области ни белый толстолобик, ни малоротый буффало при двухлетнем обороте не достигают товарной навески. Наилучший темп роста при товарном выращивании отмечается у двухлеток карпа, в среднем он достигает 600-950 г, кормовой коэффициент составляет 1,0-2,5. Из растительноядных рыб хорошая навеска у двухлетков белого амура – 750 г. Разработанные нормативы позволяют получать до 600-800 кг/га рыбопродукции, что делает рыбоводство Пензенской области перспективным.

Таким образом, в прудах, заросших высшей водной растительностью, в условиях Пензенской области можно получать товарную продукцию белого амура в двухлетнем обороте, а для белого толстолобика и малоротого буффало необходим трехлетний оборот.

Следует отметить, что резервные возможности рыбоводных прудов, в том числе прудов комплексного назначения Пензенской области по продуцированию органического вещества за счет фотосинтеза фитопланктона и высших водных растений достаточно высокие. Потенциальная способность рыбоводных прудов позволяет энергию ФАР использовать эффективней, чем она используется в настоящее время. Альголизация рыбоводного пруда суспензией хлореллы с использованием штаммов Chlorella vulgaris ИФР № С-111 и Chlorella vulgaris BIN, позволяют предотвратить «цветение» воды синезелеными водорослями, усилить кормовую базу за счет преобладающего развития зелёных водорослей, что позволяет повысить рыбопродуктивность нагульных прудов и увеличить навески и сохранность молоди в выростных прудах.

Математическое моделирование экосистемы рыбоводного пруда высокой продуктивности дает возможность рационального управления биологическими процессами и получения максимальной рыбопродукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов, Н.И. Культивирование и использование хлореллы в животноводстве / Н.И. Богданов // Вопросы интенсификации сельскохозяйственного производства в исследованиях ПензНИИСХ: сборник. – Пенза, 1999. – С. 295-303.
2. Богданов, Н.И. Культивирование хлореллы и её продуктивность в Таджикистане / Н.И. Богданов // Докл. АН Тадж ССР, Т. XXIX. – 1986. – № 6. – С. 370-372.
3. Богданов, Н.И. Математическое моделирование управляемой высокопродуктивной экосистемы рыбоводного пруда. Сообщение 1 / Н.И. Богданов, Ф.С. Комилов, М.К. Юнусов, М.С. Эгамов // Изв. АН Тадж ССР, Отд. биол. наук. – 1991. – № 1 (122). – С. 14-18.
4. Богданов, Н.И. Микробиологические процессы и рыбоводные результаты интенсивно эксплуатируемых прудов Таджикистана / Н.И. Богданов, М.С. Эгамов // Деп. ВИНИТИ № 197-В 93, 1993. – 80 с.
5. Богданов, Н.И. Прудовое рыбоводство Пензенской области / Н.И. Богданов, А.Ю. Асанов. – Пенза, 2005. – 68 с.
6. Богданов, Н.И. Прудовое рыбоводство Пензенской области / Н.И. Богданов, А.Ю. Асанов. – 2-е издание, Пенза, 2010. – 86 с.
7. Богданов, Н.И. Садковое выращивание карпа в Нурекском водохранилище / Н.И. Богданов // Извести АН Тадж ССР. – 1982. – № 4 (89). – С. 39-42.
8. Богерук, А.К. Каталог пород, кроссов и одомашненных форм рыб России и СНГ / А.К. Богерук, Н.Ю. Евтихиева, Ю.И. Илясов. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2001. – 206 с.
9. Власов, В.А. Разведение пресноводных рыб и раков / В.А. Власов, С.Б. Мустаев. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2004. – 256 с.
10. Воинов, А.А. Имитационная модель Кайраккумского водохранилища / А.А. Воинов, Ф.С. Комилов / Вычислительный центр АН СССР. – Москва, 1986. – 36 с.
11. Воинов, А.А. Имитационная модель экосистемы Нурекского водохранилища / А.А. Воинов, Ф.С. Комилов // Изв. АН ТаджССР, Отд. биол. н. – 1984. – № 3. – С. 76-82.

12. Воинов, А.А. Моделирование экосистемы водохранилищ реки Вахш А.А./ Воинов, Ф.С. Комилов. – Душанбе: ТаджикИНТИ, 1985. – 38 с.
13. Грищенко, Л.И. Болезни рыб и основы рыбоводства / Л.И. Грищенко, М.Ш. Акбаев, Г.В. Васильков. – М.: Колосс, 1999. – 455 с.
14. Ивушкин, А.С. Водорегулирующие сооружения Пензенской области / А.С. Ивушкин, И.М. Крымов, К.К. Кантеев. – Пенза: «Пензенская правда», 1993. – 270 с.
15. Клевакин, А.А. Аннотированный каталог рыб Нижегородской области / А.А. Клевакин, А.Е. Минин, Ю.В. Блинов. – Нижний Новгород: Тип. Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского, 2003. – 36 с.
16. Козлов, В.И. Справочник рыбовода / В.И. Козлов, Л.С. Абрамович. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 220 с.
17. Комилов, Ф.С. Математическое моделирование управляемой высокопродуктивной экосистемы рыбоводного пруда. Сообщение II / Ф.С. Комилов, М.К. Юнусов, Н.И. Богданов, М.С. Эгамов // Известия АН Тадж ССР, Отд. биол. наук. – 1992. – № 1 (125). –С. 33-38.
18. Крышев, И.М. Природные водоёмы Пензенской области / И.М. Крышев, А.С. Ивушкин. – Лопатинская тип., 1981. – 60 с.
19. Курицын, И.И. География Пензенской области / И.И. Курицын, Н.А. Мадерский. – Саратов, 1991. – 125 с.
20. Логофет, Д.О. Матрицы и графы. Проблемы устойчивости в математической экологии: автореферат дис. … докт. наук / Д.О. Логофет. – Красноярск, 1986. – 55 с.
21. Лукъянов, Н.К. Труды международного симпозиума по проблемам математического моделирования процессов взаимодействия человеческой активности и окружающей среды: сборник; Телави, сентябрь, 1978, т. 1 – М.: ВЦ АН СССР, 1979. – С. 93-111.
22. Мамонтов, Ю.П. Прудовое рыбоводство. Современное состояние и перспективы развития рыбоводства в Российской Федерации / Ю.П. Мамонтов, В.Я. Скляров, Н.В. Стецко. – М.: ФГНУ « Росинформагротех». – 2010. – 216 с.

23. Мамонтов, Ю.П. Развитие сельскохозяйственного рыбоводства в России / Ю.П. Мамонтов, В.С.Захаров // Рыбоводство. – 2011. – № 1. – С. 4-5.
24. Мамонтов, Ю.П. Рыбное хозяйство внутренних пресноводных водоемов России (Белая книга) / Ю.П. Мамонтов, А.И. Литвиненко, В.Я. Скляров. – Тюмень: Госрыбцентр, 2003. – 66 с.
25. Манохина, А.В. Об использовании интенсивной культуры протококковых водорослей в рыбоводстве / А.В. Манохина // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве: сборник. – Ташкент: ФАН Уз ССР, 1977. – С. 72-74.
26. Матишов, Г.Г. Аквакультура: мировой опыт и российские разработки / Г.Г. Матишов, Е.Н. Пономарев, П.А. Балыкин // Рыбное хозяйство. – 2010. – № 3. – С. 24-27.
27. Митрофанов, В.П. Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана: сборник. – Фрунзе: Илим, 1981. – С. 337-342.
28. Музафаров, А.М. Итоги и перспективы изучения методов массового культивирования и применения хлореллы и других зеленых микроводорослей / А.М. Музафаров // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве: сборник. – Ташкент: ФАН Уз ССР, 1977. – С. 3-6.
29. Ничипорович, А.А. Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности / А.А. Ничипорович. – М.: Наука, 1966. – С. 7-50.
30. Новожилова, М.И. Микрофлора и удобрение прудов аридной зоны СССР / М.И. Новожилова, А.Ф. Сокольский, К.В. Горбунов. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 152 с.
31. Привезенцев, Ю.А. Выращивание рыб в малых водоемах / Ю.А. Привезенцев. – М.: Колосс, 2000. – 127 с.
32. Родина, А.Г. Динамика биомассы микробов и процессов круговорота азота в рыбоводных прудах в летний период / А.Г. Родина // Изв. естеств. наук АН Тадж ССР. – Сталинабад, 1953. – № 3.
33. Родина, А.Г. Тр. Зоологич. ин-та АН СССР, Т. XXVI, 1959. – С. 129-219.
34. Руденко, Г.П. Продукционно-гидробиологические исследования на внутренних водоемах: сборник. – Л.: Промрыбвод, вып. 252, 1986. – С. 45-50.

35. Руководство по биотехнике разведения и выращивания дальневосточных растительноядных рыб. – М., 2000. – 211 с.
36. Система ведения агропромышленного производства Пензенской области. Часть 3. Система животноводства. – Изд-во Пензенская правда, Пенза, 1993. – С. 227-233.
37. Черномаменцев, А.И. Рыбоводство / А.И. Черномаменцев, В.В. Мильштейн. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 272 с.
38. Юнуси, М.К. Математическое моделирование управляемой высокопродуктивной экосистемы рыбоводного пруда. Сообщение 3 / М.К. Юнуси, Ф.С. Комилов, Н.И. Богданов, М.С. Эгамов. – Душанбе, 1993. Деп. ВИНИТИ № 582. – В 93. – 11 с.
39. Юнусов, М.К. Математическое модели борьбы с вредителями агроценозов / М.К. Юнусов. – Душанбе: Дониш, 1991. – 146 с.
40. Jeffries, C. Qualitative stability and digraphs in model ecosystems / C. Jeffries // Ecology, 55. – 1974. – № 6. – P. 1415-1419.
41. Jrgensen, S.E. Lake management / S.E. Jrgensen. – Oxford: Pergamon Press. – 167 p.
42. May, R.M. Qualitative stability in model ecosystems / R.M. May // Ecology, 54. – 1991. – № 3. – P. 638-641.
43. May, R.M. Stability and complexity in model ecosystems / R.M. May. – Princeton Univ. Press, 1973. – 515 p.
44. Svireshev J.M., Krysanova V.P., Voinov A.A. Ecol. Modelling. – № 21. –1984. – P. 315-337.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Рыбоводно-биологические нормативы для прудов комплексного назначения Пензенской области (III зона прудового рыбоводства)

Наименование норматива	Единица измерения	Норматив
Товарное рыбоводство (поликультура)		
Площадь пруда	га	20-50
Средняя глубина пруда	м	3-5
Естественная рыбопродуктивность	кг/га	160-200
Рыбопродуктивность с применением органических и минеральных удобрений	кг/га	600-800
в том числе:		
по карпу	кг/га	400-500
по растительноядным	кг/га	200-300
Плотность посадки	экз./га	1800
в том числе:		
карп	экз./га	1000
белый амур	экз./га	300
белый толстолобик	экз./га	200
пелядь	экз./га	300
Масса рыбопосадочного материала:		
карп	г	30-50
белый амур	г	40-70
белый толстолобик	г	40-60
пелядь	г	30
Средняя масса товарных двухлетков:		
карп	г	500
белый амур	г	700
белый толстолобик	г	400
пелядь	г	300
Выход товарных двухлетков	%	90
Товарное рыбоводство (монокультура)		
Рыбопродуктивность с применением органических и минеральных удобрений	кг/га	500-600
в том числе:		
по карпу (двухлетки)	кг/га	450
по карпу (сеголетки)	кг/га	100
Плотность посадки	экз./га	1500
в том числе:		
по карпу (годовички)	экз./га	1000
по карпу (личинки)	экз./га	500
Масса рыбопосадочного материала		
в том числе:		
по карпу (годовички)	г	30-50
по карпу (личинка)	мг	30
Средняя масса товарных рыб:		
в том числе:		
карп (двухлетки)	г	500
карп (сеголетки)	г	250
Выход товарного карпа	%	90

Николай Иванович Богданов
Алик Юсупович Асанов

ПРУДОВОЕ РЫБОВОДСТВО

Компьютерная верстка Н.В. Трошина

Корректор Л.А. Артамонова

Подписано в печать 1.07.2011 Формат 60×84 1/16
Бумага Гознак Print Отпечатано на ризографе
Усл. печ. л. 5 Тираж 1300 экз. Заказ № 20/11

РИО ПГСХА
440014, г. Пенза, ул. Ботаническая 30